

Sveučilište u Zagrebu  
Filozofski fakultet  
Odsjek za informacijske i komunikacijske znanosti  
Katedra za arhivistiku

# **3D digitalizacija i vizualizacija kulturne baštine**

Diplomski rad

mentor: prof. dr sc. Goran Zlodi

student: Ivana Rudić

Zagreb, 2018.

## Sažetak

Informacijske i komunikacijske tehnologije su napravile ogroman pomak u istraživanjima u području humanističkih znanosti, informacijske znanosti su potpuno suživljene sa informacijskim i komunikacijskim tehnologijama. Stoga je digitalizacija u AKM institucijama sasvim prirodan slijed dešavanja, odgovor na društvene i komunikacijske projmene koje su počele još u prošlom stoljeću. Digitalizacija i vizualizacija nepokretnih kulturnih dobara zanimljivo je područje zbog niza faktora koji otežava digitalizaciju a samim tim i vizualizaciju. Konstantno se rađaju nove ideje stvaranja 3D digitalnih modela i prikupljanja informacija (fotografija i oblaka točaka), primjerice terestrički, laserski skeneri koji rade na principu kombiniranja udaljenosti s dva unutarnja kutna mjerenja rotirajućih ogledala skenera, nakon čega se može odrediti sferni koordinatni sustav centriran na skener i bilo koja točka na površini objekta može se snimiti pomoću ovog sfernog koordinatnog sustava. Vizualizacija kulturne baštine svakodnevno odlazi korak dalje za svijetom igrice, te kombiniranjem stvarnosti, virtualne stvarnosti i proširene stvarnosti kreira sasvim nova iskustva za korisnika.

Ključne riječi: digitalizacija, 3D digitalizacija, vizualizacija, terestrički laserski skener, ICT

## Abstract

Information and communication technologies have made a huge breakthrough in research in the field of humanities, information science is fully involved in information and communication technologies. Therefore digitization in AKM institutions is a very natural sequence of events, the response to social and communication projects that started in the last century. Digitization and visualization of architectural heritage is an interesting area due to a number of factors that make digitization difficult and with team and visualization. Constantly creating new ideas for creating 3D digital models and collecting information (photos and point clouds), eg terrestrial laser scanners working on the principle of combination of distance with two internal angular measurements of rotating reflecting scanners, after which a functional coordinate system centered on the scanner can be determined any point on the surface of the object can be recorded using this punctual coordinate system. Visualization of cultural heritage goes on to the world of gaming every day, combining reality, virtual reality and expanded reality creates a whole new experience for the users.

Keywords: digitization, 3D digitization, visualization, terrestrial laser scanner, ICT

## Sadržaj

Sažetak .....	2
Abstract .....	2
Sadržaj .....	3
Uvod .....	5
Informacijske i komunikacijske tehnologije u području humanističkih znanosti .....	6
Primjena ICT-a u humanističkim znanostima .....	7
Digitalizacija baštine .....	8
Digitalizacija u AKM institucijama .....	11
Proces digitalizacije .....	13
Odabir gradiva .....	14
Digitalizacija gradiva .....	18
Obrada i kontrola kvalitete nakon digitalizacije .....	18
Zaštita digitaliziranoga gradiva .....	18
Pohrana i prijenos .....	18
Pregled i korištenje digitaliziranoga gradiva .....	18
Održavanje digitalnoga gradiva .....	18
3D tehnologija u AKM institucijama .....	19
3D digitalizacija nepokretnih kulturnih dobara .....	28
Terestrički laserski skeneri .....	30
Terestrički laserski skeneri sa termalnom kamerom .....	38
Vizualizacija .....	40
Virtualna realnost .....	41
Zaključak .....	47
Literatura .....	48

Prilozi .....	54
---------------	----

## Uvod

Živimo u vremenu kada smo svi povezani putem Interneta, sve u svijetu je povezano na razini koju rijetki ljudi zaista razumiju, ali smo svi korisnici bez obzira da li razumijemo ili ne. Sve informacije su nam na dohvat ruke, doslovno, jer svoje enciklopedije i knjige nosimo u džepovima. Iako smo svi bili šokirani kada smo pogledali film Matrix krajem prošlog milenija, nama je danas digitalni svijet postao prirodno stanište. Baštinske institucije koje u bile izvori informacija i platforme okupljanja akademika i javnosti morale su promijeniti pristup kako bi ostale relevantne u novom prirodno staništu čovjeka. Digitalizacija i vizualizacija baštinskih objekata postala je način implementacije baštinskih institucija u digitalni svijet. „Digitalizacija je postala fundamentalan dio trenutnog scenarija dokumentacije i aktivnog očuvanja kulturne baštine. Razvila se do te mjere da je postala protagonist u priči očuvanja i valorizacije baštine kojoj prijeti propadanje.“ (Cipiriani, 2017) Znanstvenici i istraživači digitalne baštine rade na unapređenju interpretacije kako bi privukli i zainteresirali krajnje korisnike pomoću različitih digitalnih alata i medija kao što su: igraći motor za postizanje hermeneutičkog okruženja, Somatski impuls ili hapticki uređaji za utjelovljenu interakciju, umjetni agens i dinamičniji sadržaj (npr. Second Life, virtualni zabranjeni grad) s više korisničkih virtualnih okruženja (MUVEs) za vjerodostojnija virtualna okruženja; povećane stereografske panorame impresivnih zaslona i holografskih prikaza s povećanom primjenom stvarnosti za veće uranjanje. (Rahaman, 2017)

U radu ćemo pokušati objasniti vezu između informacijskih i komunikacijskih tehnologija i kulturne baštine. Definirat ćemo osnovne pojmove koji su krucijalni za razumijevanje teme, kao što su digitalizacija, 3D digitalizacija, kulturna baština, digitalna kulturna baština, itd. Fokus ćemo staviti na prednosti digitalizacije i virtualizacije te nećemo zalaziti negativne efekte koji su nekad vidljivi. Također pretežno ćemo opisati digitalizaciju nepokretne kulturne baštine, pod tim misleći na arhitekturu i baštinske lokalitete.

## Informacijske i komunikacijske tehnologije u području humanističkih znanosti

Informacijske i komunikacijske tehnologije ICT, pojam je koji uključuje bilo koji komunikacijski uređaj poput radija, televizije, mobilnih telefona, računara i mreže, hardvera, softvera, satelitskih sustava i drugih raznih usluga ili aplikacija.<sup>1</sup> (Syah, Nuradi, Nasution, Mahyuddin, 2017)

„Informacijska komunikacijska tehnologija je tehnologija potrebna za obradu informacija, a posebice na korištenje elektroničkih komunikacijskih uređaja i softverskih aplikacija za pretvaranje, pohranu, zaštitu, obradu, prijenos i dohvaćanje informacija bilo gdje i bilo kada. Informacijska i komunikacijska tehnologija (ICT) odnosi se na sve tehnologije koje se koriste za rukovanje telekomunikacijama, emitiranim medijima, inteligentnim sustavima za upravljanje zgradama, audiovizualnim procesnim i prijenosnim sustavima te funkcijama nadzora i nadzora na mreži. Iako se ICT često smatra proširenim sinonimom za informacijsku tehnologiju (IT), njegov opseg je širi. ICT se do nedavno koristio za opisivanje konvergencije nekoliko tehnologija i uporabu zajedničkih prijenosnih vodova koji nose vrlo različite tipove i formate podataka i oblika komunikacije.“

Informacijske i komunikacijske tehnologije postale su dio svakodnevnog života, prema istraživanju iz 2017. godine 80% mladih, što čini oko 840 milijuna osoba u 104 zemlje su on-line<sup>2</sup>. Prije samo 20 godina ICT-e bile su dostupne samo znanstvenim institucijama, velikim korporacijama, imućnim pojedincima, dok su danas neizostavan dio života većine stanovništva, ukoliko naravno izostavimo nerazvijene zemlje čiji stanovnici nemaju mogućosti i slobode. ICT-e su našle svoj put do privatnih života svakog pojedinca a samim tim one su postale neizostavan dio u svim ostalim segmentima društva. Javlja se problem nedovoljno brze prilagodbe usluga koje zajednica koristi na ovaj novi digitalni svijet. Ukoliko se osvrnemo na AKM institucije u praksi, korisnici očekuju brz pristup informacijama i uslugama putem Interneta, međutim institucije nisu odreagirale na vrijeme i sada su u velikom zaostatku, njihove usluge nisu interesantne korisnicima. Naravno nije u pitanju samo usporena reakcija neizostavno je naglasiti problem sa financijama, obukom osoblja, tehničkom podrškom... Međutim ukoliko promatramo teorijski dio informacijske i komunikacijske znanosti itekako idu u korak sa razvojem tehnologije. Institucije kulturne baštine – AKM institucije razlikuju se po vrstama i veličini širom svijeta, ali u posljednjem desetljeću gotovo sve koriste

---

<sup>1</sup> Syah, R & E Nuradi, T & Nasution, Mahyuddin. (2017). A framework to apply ICT for bequeathing the cultural heritage to next generation. Journal of Physics: Conference Series. 801. 012088. 10.1088/1742-6596/801/1/012088.

[https://www.researchgate.net/publication/315593305\\_A\\_framework\\_to\\_apply\\_ICT\\_for\\_bequeathing\\_the\\_cultural\\_heritage\\_to\\_next\\_generation](https://www.researchgate.net/publication/315593305_A_framework_to_apply_ICT_for_bequeathing_the_cultural_heritage_to_next_generation)

<sup>2</sup> ICT Facts and Figures 2017 <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/facts/default.aspx>

digitalne resurse. Digitalni svijet najbrže se razvija i mijenja svijet. Euforija pretvaranja analognih informacija u digitalni format je nestala. Korištenje digitaliziranog sadržaja za isporuku novih proizvoda i usluga u kreativnoj i informacijskoj industriji opravdava napore mnogih stručnjaka različitih domena.<sup>3</sup> (Doneva, Dobrev, 2012) Očigledno je da, kada su u pitanju ICT-e, velike AKM institucije i one koje se nalaze u razvijenijim zemljama prednjače u teorijskom razvoju ali i u praksi, no napredak je vidljiv i u manjim institucijama koje se trude što prije savladati digitalno ludilo koje je zavladao svijetom.

## Primjena ICT-a u humanističkim znanostima

Razmotrit ćemo prednosti i nedostatke uporabe ICT-a u području društvenih i humanističkih znanosti. Krenut ćemo od dvije metode koje imaju svrhu da unaprijede metodologiju i taksonomiju ICT metoda.

Ubrzani razvoj ICT-a doveo je potrebe za jasno određenim metodama digitalnog istraživanja u humanističkim znanostima, prema Hughesu(2012) zbog toga nastaje koncept *metodoloških dobara* kao dio intelektualne i disciplinarne mape digitalne humanistike<sup>4</sup> u kontekstu modeliranja procesa istraživanja u humanističkim znanostima<sup>5</sup>(Hughes, 2012)

Elementi modela metodoloških dobara prema Smithu i McCartyju:

- Tehničke metode iz disciplina poput inženjeringa i informatike za rudarenje, vizualizaciju i modeliranje digitalnog sadržaja
- Novi načini suradnje između disciplina i zajednica, osobito kada je u pitanju suradnje između znanstvenih, tehničkih i baštinskih disciplina
- Kombinacija različitih tipova podataka, tehničkih metoda i raznih tehnologija primjerice za kombinacije teksta, baza podataka, slika, videa, zvuka i GIS-a<sup>6</sup>
- Službene metode koje su potrebne za analizu i dizajn izvora podataka i modeliranja mogućih tehničkih pristupa
- Metode za rad sa velikim izvorima podataka, kao i za prikupljanje materijala iz više zbirki ili izvora<sup>7</sup> (Hughes, 2012)

Prema ovim elementima možemo uočiti da postoji niz prednosti koje nam pruža upotreba ICT u baštinskim institucijama.

---

<sup>3</sup> <http://www.math.bas.bg/infres/book-ADCH/ADCH-ch1>

<sup>4</sup> Mapu su razvili Harlod Smith i Willard McCarty i prvi put je prezentirana na sastanku Association for Literary and Linguistic Computing u Pisi 2002. Godine

<sup>5</sup> L. Hughes (2012). Using ICT Methods and Tool in Arts and Humanities Research. Evaluating and Measuring the Value, Use and Impact od Digital Collections. Facet Publishing, London

<sup>6</sup> GIS- Geografski informacijski sustav

<sup>7</sup> L. Hughes (2012). Using ICT Methods and Tool in Arts and Humanities Research. Evaluating and Measuring the Value, Use and Impact od Digital Collections. Facet Publishing, London

*Taksonomija ICT metoda*<sup>8</sup> formalizira i pruža kontroliran rječnik za upotrebu ICT-a u humanističkim znanostima. Pojmovi su klasificirani na dvije razine: sadržajnu i funkcionalnu. Sadržajna razina opisuje vrstu stvorenog digitalnog sadržaja, primjerice narativni tekst, skup podataka/strukturirani podaci, slika/grafika, pokretne slike, 3D objekti, prostor, zvuk. Funkcionalna razina prema Andersonu i Specku iz 2003. godine opisuje široki spektar funkcija koje se sprovode prilikom stvaranja digitalnog sadržaja :

- Prikupljanje: konverzija analogne informacije u digitalni podatak
- Obrada: organizacija i integracija podataka prikupljenih iz jednog ili više izvora u ujednačen konceptualni okvir kroz primjerice normalizaciju i standardizaciju podataka
- Analiza: izvlačenje informacija/znanja/značenja
- Diseminacija i prezentacija: prezentacija i komunikacija istraživanja

Ova taksonomija nam pokazuje da su ICT postale sastavni dio osnovnih funkcija koje obavljaju AKM institucije. Simbioza ovih institucija se ICTse razvijala godinama i razvija se svakodnevno. AKM institucije prihvaćaju nove tehnologije jer im olakšavaju, ubrzavaju i unapređuju svakodnevne zadatke. AKM čuvaju većinu kulturnih i znanstvenih sadržaja. Oni su uglavnom neprofitne organizacije usmjerene ciljevima povezanim s pružanjem pristupa zbirkama kako bi se olakšalo stvaranje znanja. Povećanje i poboljšanje pristupa zbirkama važan je pokretač tih organizacija za usvajanje novih tehnologija. (Borowiecki, Navarrete 2017)

## Digitalizacija baštine

U radu ćemo se fokusirati na digitalizaciju baštine koja omogućava veći pristup informacijama, pohranu informacija u sasvim novim oblicima i na drugačijim medijima, također omogućava bržu i suvremeniju obradu podataka, te nove načine prezentacije.

Prvenstveno ćemo definirati pojmove koje ćemo učestalo koristiti u ovom radu. Tema rada zahtjeva definisanje pojmova digitalizacije, trodimenzionalna digitalizacije, vizualizacije, kulturne baštine, digitalnog objekta, digitalne zbirke te baštinskih objekata. U radu se nećemo baviti svim vrstama baštinskih objekata, nego ćemo staviti fokus na arhitekturu i skulpture. Primjerima ćemo pokušati ukazati na tehnologije koje se koriste, inovacije koje dovode do unapređenja digitalizacije i virtualizacije baštinskih objekata.

Definicija digitalizacije koju ćemo koristiti preuzeta je iz Hrvatske enciklopedije, Leksikografskog zavoda Miroslav Krleža prema kojoj je **digitalizacija** (engl. *digitalization*, od *digit*: znamenka), u

---

<sup>8</sup> ICT Taksonomija metoda nastala je 2003. godine kao dio projekta AHDS-a Projekta i Metoda Baza Podataka autori su Sheila Anderson i Reto Speck



najširem smislu, prevođenje analognoga signala u digitalni oblik. U užem smislu, pretvorba teksta, slike, zvuka, pokretnih slika (filmova i videa) ili trodimenzijskog oblika nekog objekta u digitalni oblik, u pravilu binaran kôd zapisan kao računalna datoteka sa sažimanjem podataka ili bez sažimanja podataka, koji se može obrađivati, pohranjivati ili prenositi računalima i računalnim sustavima. Postupci digitalizacije, kao i uređaji kojima se ona obavlja (analogno-digitalni pretvornici), ovise o vrsti gradiva koje se digitalizira.<sup>9</sup> Nadalje iz istog izvora ćemo definirati trodimenzijsku digitalizaciju, u kom je **trodimenzijska digitalizacija (3D digitalizacija)** postupak kojim se prostorni oblik nekog predmeta ili objekta (npr. izložka umjetničke ili arheološke zbirke, terena) određuje (snima) i zapisuje u digitalnom obliku. Takav zapis omogućava računalni prikaz izgleda digitaliziranog objekta iz bilo kojega kuta gledanja, izradbu izvedbenih ili drugih nacрта i planova objekta, izradbu duplikata (reprodukcije) objekta uz pomoć numerički upravljanih alatnih strojeva CNC ili 3D pisača, itd.

Idući pojam koji moramo definirati je baština, u hrvatskoj pravnoj terminologiji za pojam kulturne baštine koristi se pojam kulturnog dobra<sup>10</sup> (Šošić, 2014) kako možemo i vidjeti u Zakonu o zaštiti i očuvanju kulturnih dobara koji ćemo upotrebiti u radu kako bi definirali baštinu odnosno kulturna dobra i vrste kulturnih dobara. Tako prema Zakonu o zaštiti i očuvanju kulturnih dobara, kulturna dobra su pokretne i nepokretne stvari od umjetničkog, povijesnog, arheološkog, antropološkog i znanstvenog značenja, arheološka nalazišta i arheološke zone, krajolici i njihovi dijelovi koji svjedoče o čovjekovoj prisutnosti u prostoru a imaju umjetničku, povijesnu i antropološku vrijednost, nematerijalni oblici i pojave čovjekova duhovnog stvaralaštva u prošlosti kao i dokumentacija i bibliografska baština i zgrada odnosno prostori u kojima se trajno čuvaju ili izlažu kulturna dobra i dokumentacija o njima.<sup>11</sup> Kako bi pojam kulturne baštine i kulturnog dobra podrobnije opisali, citirat ćemo član 1 iz UNESCO-ve Konvencije o zaštiti svjetske kulturne i prirodne baštine prema kom se pod kulturnom baštinom podrazumijevaju:

Spomenici: djela arhitekture, monumentalna vajarska i slikarska djela, elementi ili strukture arheološkog karaktera, natpisi, pećine koje su se koristile za stanovanje i kombinacija elemenata koji imaju izuzetnu univerzalnu vrijednost sa istorijskog, umjetničkog ili znanstvenog gledišta  
Grupna zdanja: grupe izolovanih ili povezanih građevina koje, po svojoj arhitekturi, jedinstvu ili uklopljenosti u pejzaž, predstavljaju izuzetnu univerzalnu vrijednost sa povijesnog, umjetničkog ili znanstvenog gledišta

---

<sup>9</sup> <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=68025>

<sup>10</sup> Str. 842 POJAM KULTURNE BAŠTINE – MEĐUNARODNOPRAVNI POGLED Trpimir M. Šošić 2014 Zbornik radova pravnog fakulteta u Splitu god. 51, 4/2014.

<sup>11</sup> <https://www.zakon.hr/z/340/Zakon-o-za%C5%A1titi-i-o%C4%8Duvanju-kulturnih-dobara>

Znamenita mjesta: djela ljudskih ruku ili kombinovana djela ljudskih ruku i prirode, uključujući i arheološka nalazišta koja su od izuzetnog univerzalnog značaja sa povijesnog, estetskog, etnološkog ili antropološkog gledišta.<sup>12</sup>

Kulturnu baštinu razumijemo prije svega kao viši rodni pojam koji se odnosi na ukupnost kulturnih dobara ili makar na njihov širi krug, dok pojam kulturno dobro u prvom redu označava pojedine, konkretne objekte ili nematerijalne manifestacije ljudske kulture koji su vrijedni zaštite.<sup>13</sup> (Šošić, 2014) Sada kada smo utvrdili povezanost ova dva pojma definirat ćemo digitalne baštinske objekte. Digitalni baštinski objekt jest entitet koji je nastao kao surogat analognog baštinskog objekta (muzejskog artefakta, knjige, rukopisa, zvučnog ili filmskog zapisa itd.) ili je „rođen digitalno“ („born digital“) u nekog elektroničkom obliku (baza podataka, digitalna fotografija, digitalni zvuk, digitalni film, internetska stranica itd.) (Šojat Bikić, 2006)<sup>14</sup> Prema UNESCO-voj definiciji iz 2003. godine digitalna baština je "jedinstveni izvor ljudskog znanja i izražavanja" digitalno stvorena ili pretvorena u digitalni oblik iz postojećih analognih izvora". Prema toj definiciji UNESCO-a, bilo koji digitalni sadržaj, tj. "digitalno stvoren" i "digitalni surogat" koji posjeduje kulturne vrijednosti, bilo u 2D obliku (kao što su tekst, slike i filmovi) ili 3D (kao što je navigacijski virtualni okoliš, trodimenzionalni objekti) pripada "digitalnoj baštini". Osim toga, "virtualna baština" (VH) obično se koristi za opisivanje radova koji se odnose na virtualnu stvarnost (VR) i kulturnu baštinu i po definiciji, spada pod digitalno naslijeđe.<sup>15</sup> (Rahaman, 2018)

Trenutno je rad na digitalnom kulturnom naslijeđu podijeljen na tri dijela, ali još uvijek pripada onome što možemo nazvati "mehaničkom" digitalizacijom: digitalna dokumentacija, upravljanje znanjem i prikazivanje / vizualizacija i interpretacija. Tehnologije za digitalno snimanje uključuju daljinsko očitavanje antenskog radara, modeliranje fotogrametrije / slike, 3D lasersko skeniranje, infracrveno / multispektralno istraživanje slika, podvodno mjerenje i detekcija - sa stručnjacima obučanim u području istraživanja i mapiranja. Istraživanje tehnologije digitalnog upravljanja pokriva područja prevencije i praćenja, nadzora i zaštite od katastrofe, računalne simulacije, platforme za analizu / platforme za upravljanje informacijama kao što je BIM - s stručnjacima obučanim u području računalne grafike. Digitalni prikaz / vizualizacija i interpretacija uključuje izradu web stranica tehnologije / interaktivnu mrežu, 3D modeliranje i obradu i animaciju, svjetlo /

---

<sup>12</sup> <https://whc.unesco.org/en/conventiontext/>

<sup>13</sup> Str. 842 POJAM KULTURNE BAŠTINE – MEĐUNARODNOPRAVNI POGLED Trpimir M. Šošić 2014 Zbornik radova pravnog fakulteta u Splitu god. 51, 4/2014.

<sup>14</sup> M. Šojat Bikić. 2006. Baštinski pristup digitalizaciji povijesnih novina: od povijesnih novina do digitalne zbirke sadržaja

<sup>15</sup> Hafizur Rahaman (2018) Digital heritage interpretation: a conceptual framework, Digital Creativity, DOI: [10.1080/14626268.2018.1511602](https://doi.org/10.1080/14626268.2018.1511602)

projekcijsko / holografsko snimanje, virtualnu stvarnost /povećana stvarnost - s stručnjacima obučanim u području multimedije.( He, Ma, Zhang, 2017)

## Digitalizacija u AKM institucijama

Sedamdesetih godina prošlog stoljeća AKM institucije počele su promovirati i poticati digitalizaciju - pretvorbu analogne informacije u digitalnu informaciju – kako bi povećali pristup materijalima kulturne baštine kroz različite inkarnacije digitalnih medija. Izrada elektroničkih kataloga AKM institucija je prvi oblik digitalizacije koji su ove institucije prigrlile 1970-ih a u narednom desetljeću uvela se praksa pretvorbe izvorno tiskanog gradiva u digitalne datoteke. Jedan od prvih projekata digitalizacije bio je Optical Digital Image Storage System (ODISS)<sup>16</sup> koji je pokrenuo The National Archives and Records Administration (NARA) in Washington, 1984. godine. U 1980-tima institucije su se pretežno posvetile digitalizaciji rijetkih dokumenata ili predmeta visoke znanstvene vrijednosti, prvenstveno zbog ograničenih resursa određenih za digitalizaciju. Najvažniji primjer toga je digitalizacija rukopisa Beowulfa u Britanskoj knjižnici, s objavom Electronic Beowulf 1992. godine (Kiernan 1981, Kiernan 1991, Prescott 1997). Međutim već u devedesetima situacija se mijenja zbog opadanja cijena opreme potrebne za digitalizaciju i povećanja pristupa i resursa. U novom milenijumu dolazi do prvog povezivanja sa velikim, globalnim pružateljima informacija, kao što su Google i Microsoft, to sa sobom donosi masovnu digitalizaciju kompletne građe, za razliku od prijašnjeg digitaliziranja samo odabranog sadržaja, tako nastaje projekt Google Knjiga<sup>17</sup> u 2007. godini. Iako ovaj obrt u digitalizaciji možda izgleda kao određena vrsta spasa za digitalizaciju kulturnog sadržaja u suštini otvara mnoga teška pitanja vezana za autorska prava i pristup građi.<sup>18</sup> (Terras, 2015) Neki znanstvenici (Navarret, 2014) tvrde da baštinske institucije još nisu u potpunosti prihvatile praksu digitalnog rada, što je neophodno ukoliko žele uvesti inovacije za pružanje informacija o baštini koje se mogu iznova koristiti.<sup>19</sup>(Borowiecki, Navarrete, 2015) Znanost o baštini, rastuće znanstveno polje, kombinira humanističke znanosti i druge znanosti kako bi odgovorilo na potrebe umjetnosti, arheologije i prirodoslovnih sektora kroz upravljanje, očuvanje, tumačenje i digitalizaciju. Digitalizacija, snimanje i dokumentacija, za istraživanje i

---

<sup>16</sup> ODISS imao je za cilj ispitati korisnost tehnologija digitalnih slika i optičkih diskova za reprodukciju, skladištenje i pronalaženje arhivskih dokumenata

<sup>17</sup> Ideja za projekt nastala je još 1996. godine međutim tek 2007. godine projekt je zaživio u današnjem obliku <https://books.google.com/googlebooks/about/history.html>

<sup>18</sup> Terras, M. (2015). "Cultural Heritage Information: Artefacts and Digitization Technologies" In Chowdhury, G. and Ruthven, I. (2015). "Cultural Heritage information", London: Facet. p. 63-88.

<sup>19</sup> Karol J. Borowiecki and Trilce Navarrete, 2015. Digitization of heritage collections as indicator of innovation in Business and Economics No. 14/2015 [file:///C:/Users/PC/Downloads/dpbe14\\_2015.pdf](file:///C:/Users/PC/Downloads/dpbe14_2015.pdf)

očuvanje su stup tog područja. Ona dokumentira stanje, daje informaciju o njezi i povećava razinu poznavanja predmeta baštine kada je dobro osmišljen i izveden.<sup>20</sup> (Keats Web, 2017)

Kulturna baština spada u najvažnije suvremene čimbenike razvoja identiteta prostora i ljudi u njemu, a prvenstveno živa baština jasno pokazuje svoju usku povezanost s identitetom pojedinaca i zajednica u kompleksnom dijalogu između prošlosti i sadašnjosti.<sup>21</sup> (Panjek, Zainer, 2012) Kako veliki broj objavljenih radova i izvješća o tom pitanju odražava, kulturna baština je relevantno pitanje u suvremenim europskim društvima (Opća uprava za istraživanje i inovacije, 2015). Baština prenosi zajednici osjećaj trajnosti, znanja odakle smo došli, te zajedničkog bogatstva i vrijednosti. Njeno očuvanje je, većinom vremena, izazov na mnogim razinama. Ono zahtijeva stručnost, tehnologiju, vrijeme i novac, koji očigledno nisu uvijek dostupni za projekte koji ne daju odmah stalno traženi napredak društva.<sup>22</sup> (Redweik, Claudio, Caramo, Naranjo, 2017)

Castañer i Campos (2002) tvrde da se inovativni output unutar kulturnih organizacija može promatrati u stvaranju novog sadržaja kao i u obliku u kojem se sadržaj prezentira. Konkretnije, Bakhshi i Throsby (2012) identificiraju inovativnost u dosegu publike, u razvoju likovne umjetnosti, stvaranju vrijednosti i poslovnom upravljanju i upravljanju.<sup>23</sup> (Borowiecki, Navarrete, 2015) Područje kulturne baštine danas je nezamislivo bez upliva informacijsko-komunikacijske tehnologije. Naravno, institucije poput arhiva, knjižnica, muzeja kao i druge informacijsko-dokumentacijske institucije koje su nadležne za očuvanje kulturne baštine i dalje čuvaju sve objekte (materijalne i nematerijalne) kulturne baštine. Informacijsko-komunikacijska tehnologija utječe na područje kulturne baštine na mnogo raznovrsnih načina.<sup>24</sup> (Stančić, 2012) Digitalizacija i dostupnost na mreži pruža zbirkama muzeja, knjižnica i arhiva mnogo veću vidljivost. To ne privlači samo nove posjetitelje, turiste i istraživače, nego i poslovanje regionalnim gospodarstvima. Digitalizacija i digitalno očuvanje dodatno stvaraju mogućnosti zapošljavanja u inovativnim područjima kao što su 3D snimanje, 3D obrada i alati za digitalizaciju teksta ili očuvanje audiovizualnog materijala. Procjenjuje se da je do sada digitalizirano oko 20% europskih zbirki (iako je za filmsku baštinu udio

---

<sup>20</sup> E. Keats Webb (2017) Reflected Infrared and 3D Imaging for Object Documentation, Journal of the American Institute for Conservation, 56:3-4, 211-224, DOI: 10.1080/01971360.2017.1359463

<sup>21</sup> Aleksander Panjek, Katharina Zainer <https://www.had-info.hr/dokumenti/publikacije/Heritage%20live%20-%20Upravljanje%20bastinom%20uz%20pomoc%20informacijskih%20alata.pdf>

<sup>22</sup> Redweik, P., Claudio, A., Carmo, M., Naranjo, J., & Sanjosé, J. (2017). Digital preservation of cultural and scientific heritage: involving university students to raise awareness of its importance. *Virtual Archaeology Review*, 8(16), 22-34. doi:<https://doi.org/10.4995/var.2017.4629>

<sup>23</sup> Karol J. Borowiecki and Trilce Navarrete, 2015. Digitization of heritage collections as indicator of innovation in Business and Economics No. 14/2015 [file:///C:/Users/PC/Downloads/dpbe14\\_2015.pdf](file:///C:/Users/PC/Downloads/dpbe14_2015.pdf)

<sup>24</sup> Stančić, H. Uvodno o digitalizaciji u području kulturne baštine <https://www.had-info.hr/dokumenti/publikacije/Heritage%20live%20-%20Upravljanje%20bastinom%20uz%20pomoc%20informacijskih%20alata.pdf>

digitaliziranih zbirki samo 1,5%).<sup>25</sup> Inovacije se odvijaju u području prezentacije sadržaja, budući da se zbirke objavljuju online na institucionalnoj web stranici, različitim portalima ili drugim društvenim medijskim platformama (npr. Flickr, Facebook, Wikipedia). To dovodi do inovativnosti u doseg publike, budući da institucije nastoje postaviti svoje zbirke na portal dostupan svojim korisnicima, uključujući i razvoj usluga na mreži i na licu mjesta (npr., Materijali za tumačenje pomoću pametnih telefona). Digitalni baštinski resursi temeljna su vrijednost građanske sadašnjosti i budućnosti, kako u diseminaciji znanja, tako i u komercijalnoj uporabi, te predstavljaju čvrstu osnovu za razvoj industrije digitalnih sadržaja.<sup>26</sup>(Šojat Bikić,2006) Zbog svoje globalnosti, interaktivnosti, bogatstva verbalnih i neverbalnih simbola, promjenljivosti i prepravljenosti, internet ima veliki inovativni potencijal.<sup>27</sup>(Vukičević, 2011) Inovacije se odvijaju u stvaranju novog sadržaja, budući da stvaraju nove slike (npr. Megapiksela, 3D vizualizacije), a objekti se smještaju u nove kontekste (na primjer, tematske online izložbe). Ovo zauzvrat dovodi do inovativnosti u stvaranju vrijednosti, budući da se baštinske institucije preseljavaju u online tržište informacija i istražuju nove poslovne modele za financiranje svojih aktivnosti (inovativnost u upravljanju poslovanjem).<sup>28</sup> (Boroweicki, Navarrete, 2015) Digitalne multimedijske tehnologije omogućuju pristup digitalnim sadržajima. Objekt digitalne zbirke može se prikazati u različitim medijima (slika, tekst, zvuk, video, animacije, itd.) i do njega se može doći interakcijom i navigacijom. Mijenja se status publike. Ona se više ne sastoji od čitatelja, nego od individualnih korisnika sa specifičnim karakteristikama. Korisnik stječe pravo na autonomni pristup sadržajima.<sup>29</sup> (Šojat Bikić,2006)

## Proces digitalizacije

Digitalizacija objekata kulturne baštine je složen i kompleksan proces koji zahtijeva znanja i vještine stručnjaka iz različitih disciplina, odnosno digitalizacija kulturne baštine je

---

<sup>25</sup> Digital Agenda Toolbox

<http://s3platform.jrc.ec.europa.eu/documents/20182/137972/Digitisation+of+cultural+heritage+to+boost+innovation2.pdf/f9584102-e076-4415-92e0-3c873f7587ee>

<sup>26</sup> M. Šojat Bikić. 2006. Baštinski pristup digitalizaciji povijesnih novina: od povijesnih novina do digitalne zbirke sadržaja

<sup>27</sup> Vukičević, V. Digitalizacija kulturnog nasleđa u funkciji ostvarivanja ciljeva kulturne politike <http://scindeks-clanci.ceon.rs/data/pdf/0023-5164/2011/0023-51641130165V.pdf>

<sup>28</sup> Karol J. Borowiecki and Trilce Navarrete, 2015. Digitization of heritage collections as indicator of innovation in Business and Economics No. 14/2015 [file:///C:/Users/PC/Downloads/dpbe14\\_2015.pdf](file:///C:/Users/PC/Downloads/dpbe14_2015.pdf)

<sup>29</sup> M. Šojat Bikić. 2006. Baštinski pristup digitalizaciji povijesnih novina: od povijesnih novina do digitalne zbirke sadržaja

interdisciplinarni proces koji jedino uz pomoć niza različitih disciplina može biti uspješno obavljen. U procesu digitalizacije kulturne baštine vitalno mjesto zauzimaju informacijske znanosti, konkretnije muzeologija, arhivistika i dokumentalistika; ekonomija i menadžment, osobito prilikom pisanja projekata za digitalizaciju te određivanja budžeta; sustavi za upravljanje kvalitetom; arhitektura; restauracija i zaštita spomenika kulture; povijest umjetnosti; tehničke znanost i razni umjetnički zanati. Kada se govori o procesu digitalizacije ne govori se samo o pretvorbi analognog u digitalno nego o procesu koji će osigurati novonastalom digitalnom proizvodu održivu budućnost. Proces digitalizacije sastoji se od sedam koraka kako preporučuje Stančić: odabir gradiva, digitalizacija gradiva, obrada i kontrola kvalitete, zaštita, pohrana i prijenos, pregled i korištenje, održavanje digitalnog gradiva.

## Odabir gradiva

Odabir gradiva za digitalizaciju je važan postupak prilikom digitalizacije veće količine gradiva. Postupak se sastoji od dviju glavnih faza – odabira gradiva koje će biti digitalizirano i određivanja redoslijeda digitalizacije odabranoga gradiva, jer postoje situacije u kojima će određeno gradivo, zbog različitih razloga, imati prioritet kod digitalizacije. Prilikom odabira, gradivo je potrebno sagledati s različitih aspekata poput, primjerice, konzervatorskog (stanje izvornika), pravnog (autorska prava), jednostavnosti rukovanja prilikom digitalizacije itd., pa tek na temelju svih tih informacija donijeti odluku o tome hoće li se ono digitalizirati ili ne. Potom je potrebno razmotriti odabrani set gradiva odabranoga za digitalizaciju te, također na temelju procjene prema različitim kriterijima, primjerice, vrijednosti, riziku od propadanja i predviđenom korištenju, odrediti redoslijed digitalizacije. (Stančić, 2012)

Prema Ooghe i Moreeles (2009)<sup>30</sup> postoji 25 različitih kriterija odabira gradiva, koji su podijeljeni u 6 grupa. Prva grupa podrazumijeva sagledavanje iz aspekta institucije.

Politika prikupljanja: politika prikupljanja i čuvanja sadržaja može se definirati zakonom ili dokumentima koji su stvoreni unutar institucije za prikupljanje. One se razlikuju po pojedinostima i opsegu, od općih zakonskih obveza do detaljnih postupaka prema specifičnim dokumentarnim vrstama. Bilo koji odabir za digitalizaciju prvo mora odgovarati ovim pravilima.

Ciljevi i svrhe postojeće digitalne zbirke: odabir za digitalizaciju funkcionira, na neki način, kao procjena digitalne zbirke. Izričiti ciljevi, svrhe i obilježja zbirke očito imaju izravan utjecaj na izbor ovih dokumenata.

---

<sup>30</sup> Analysing Selection for Digitisation Ooghe, Bart. D-lib magazine Volume: 15 Issue 9/10 (2009) ISSN: 1082-9873 <http://www.dlib.org/dlib/september09/ooghe/09ooghe.html>

Odabir projektom zbirke: blisko povezano s prethodnim kriterijem je korištenje digitalizacije kako bi se stvorila nova digitalna zbirka unutar koje se dokumenti smještaju u potpuno nove kontekste i redefinirane dokumentarne odnose. Opet, priroda ove zbirke definira kriterije koji su najrelevantniji za njegov uspjeh.

Autorska prava i druga zakonska ograničenja: zakonska ograničenja reprodukcije (analogni i digitalni oblik) i distribucija dokumenata znatno utječu na izbore materijala koji se prenose u javne i često međunarodno dostupne zbirke. Zakonska pitanja, dakle, predstavljaju neke od najvažnijih vodilja u digitalizaciji.

Druga grupa odnosi se na vrijednost materijala gradiva.

Intrinzična vrijednost (sadržaj, potpunost, jasnoća): intrinzična dokumentarna vrijednost prvenstveno je definirana sadržajem i kontekstom. One se sastoje od kombinacije takvih aspekata kao što su socio-povijesni, kulturni, estetički ili znanstveni smisao, proizvodni procesi, javni interes, formalni jezik ili tehnologija. Ti se podaci mogu u određenoj mjeri sadržavati u fizičnosti dokumenta (npr. Tipkript ili format koji označavaju kulturna značenja ili proizvodni procesi). Veća vrijednost pripisuje se dokumentima za koje se može osigurati autentičnost i integritet, a izvornost je jasna.

Odabir i publika – upotrebna vrijednost: različita publika ima različite potrebe u zavisnosti kom materijalu žele pristupiti te kojim alatima, metapodacima, kontekstualnim informacijama i sl. koje korisnici zahtijevaju za tumačenje dokumenta. Vrijednost neke stavke može se izraziti u smislu njegove sposobnosti da zadovolji te potrebe, imajući u vidu, međutim, da potencijalne razlike između trenutačne, namjeravane i stvarne uporabe zahtijevaju česte revalorizacije.

Dostupnost i pristupačnost: održavanje pristupa svojim zbirkama može se smatrati primarnom funkcijom bilo koje institucije za memoriju. I obrnuto, dostupnost i dostupnost dokumenata - ne smije se pomiješati sa pristupačnosti njihovog sadržaja, što je zaseban kriterij - također može utjecati na postupak odabira. Prioritetiranje visoko zahtijevanih materijala omogućit će više korisnika istovremenim pristupom i smanjuje fizički pritisak na izvornike. Prioritetiranje stavki koje nisu lako dostupne zbog fizičkih ograničenja potiču otkrivanje zbirke. Međutim, u nekim slučajevima može biti relevantno i za određivanje prioriteta dokumenata koji su javno nedostupni, npr. Iz političkih ili pravnih razloga. Sadašnja nedostupnost može značiti značajnu buduću povijesnu važnost.

Kontekstualna vrijednost: kontekstualna vrijednost, shvaćena ovdje u dokumentarnom, a ne arhivskom smislu (npr. Više snimaka istog orkestra, snimke koje se mogu povezati s osobnim informacijama dostupnim u privatnim arhivima) povećava čitljivost i time cjelokupnu važnost dokumenta kao povijesni zapis. Odabir na temelju kontekstualne vrijednosti zahtijeva ravnotežu

između unutarnje vrijednosti samog dokumenta i dodane vrijednosti opsežnog dokumentarnog konteksta. To se može činiti očiglednim kriterijem u arhivskom upravljanju, ali, na primjer, za mnoge odabir AV dokumenata često se provodi s malo pažnje na eventualno povezane ne-AV kontekste.

Odabir po pripadnosti: Odabir po pripadnosti uzima prethodni kriterij jedan korak dalje. To podrazumijeva da odabir dobro kontekstualiziranog dokumenta podudara s odabirom dijela dokumentarnog konteksta. To može uvelike poboljšati neposredno razumijevanje dokumenta krajnjeg korisnika, ali očito također podrazumijeva i veći napor za digitalizaciju.

Reprezentativnost: reprezentativni odabir podrazumijeva podjelu zbirke u unaprijed definirane klasifikacije: formalne (npr. Vremenske, geografske), strukturne (npr. Programske jedinice, poglavlja) i sadržajne (npr. Žanrove). Metoda ima za cilj konačni odabir koji pruža reprezentativni prikaz izvornih zbirki. Obično se primjenjuje na velike zbirke dokumenata koji dijele minimalne karakteristike (npr. Novinske zbirke) i zahtijevaju specijalizirano znanje kako bi se ograničila osobna pristranost u definiciji klasifikacija.

Izborni / randomizirani odabir - uzorkovanje: uzorkovanje također ima za cilj stvaranje reprezentativne slike zbirke, ali se više strijemi odabiru bez vrijednosti. Uzorci mogu biti različiti, npr. numerički, kronološki, zemljopisni, abecedni ili randomizirani. Ova tehnika je korisna prikikom digitalizacije zbirki koje imaju velike serije sličnih zapisa.

Estetika i vizualna privlačnost: veliki dio kulturne baštine trenutno se digitalizira radi veće vidljivosti širokoj publici. Stoga estetski i vizualni čimbenici igraju značajnu ulogu u odabiru. Jedan od najraširenijih oblika digitalizacije podrazumijeva stvaranje slika za web stranice ustanova, koje su obično ograničene na popularne dokumente.

Treća skupina odnosi se na fizičke kriterije odabira gradiva.

Dostupnost sadržaja: općenito, prioritet treba dati dokumentu čiji će sadržaj vjerojatno postati nedostupan u kratkom ili srednjem roku. Takva nedostupnost može biti uzrokovana fizičkim propadanjem (vidi i sljedeći kriterij), promjenama u hardverima i softverima potrebnim za pristup dokumentu ili nestankom stručnosti u vezi s zastarjelom tehnologijom.

Fizičko stanje gradiva: dokumenti koji će najvjerojatnije fizički nestati obično su prioritetni, dok se krhki dokumenti mogu odabrati kako bi se smanjila opasnost od daljnjeg propadanja uzrokovanih rukovanjem. Međutim, kada se dokumenti ne mogu digitalizirati bez opasnosti od gubitka ili daljnjeg oštećenja, ustanova bi mogla odgoditi odabir u nadi da će pronaći sigurniji način digitalizacije prije nego što dokument nestane.

Kvaliteta nakon digitalizacije: nakon što se donese odluka o digitalizaciji, potrebno je definirati stupanj do kojeg će digitalni krajnji rezultat nalikovati izvornom dokumentu. Zahtjevi o kvalitetu se



moraju unaprijed odrediti. Potreba za određenim kvalitetom digitaliziranog dokumenta ovisi o funkciji dokumenta, ukoliko nam je bitna čitljivost dokumenta, ali isto tako ukoliko se radi o digitalizaciji umjetničkog djela mora se obraditi pozornost na etičke probleme izmjene izgleda dokumenta.

Dodana vrijednost nakon digitalizacije: digitalizacija može pružiti značajnu dodanu vrijednost kako u pogledu pristupa i funkcionalnosti, tako i stvaranjem novih kontekstualnih odnosa. Manipulacija digitalnog objekta može, na primjer, poboljšati njegovu upotrebu filtriranjem različitih vrsta buke. Prioritet bi stoga mogao biti dan materijalima za koje digitalizacija otvara put do unutarnje dodane vrijednosti. Ovaj izbor nosi očite veze s odlukama i ograničenjima glede vizualne kvalitete nakon digitalizacije: povećanje funkcionalnosti dokumenta također može značiti odstupanje od fizičkog izgleda izvornika.

Četvrta skupina je odabir prema jedinstvenosti i mnoštvu.

Jednina i digitalno mnoštvo: originalni dokumenti uvijek imaju prednost u odnosu na reprodukcije, jer su oni nezamjenjivi i nose najvišu razinu autentičnosti i integriteta. Kopije i reprodukcije, uključujući i one koje su stvorene kao dio procesa digitalizacije, moraju se obrađivati posebno.

Peta skupina je odabir kroz aspekt metapodataka.

Odabir kroz metapodatke: digitalni dokumenti nemaju svrhu ukoliko nisu povezani sa metapodacima, ali stvaranje metapodataka je najčešće veoma dug i opsežan posao. Najčešće se daje prednost dokumentima koji imaju dovoljno metapodataka ili dokumenti za koje unos metapodataka može biti anutomatizovan. Međutim također je moguće da se izabere dokument sa manje ili bez metapodataka kako bi se stimulisalo stvaranje metapodataka i zatvaranje zbirke.

Posljednji, šesti aspekt je onaj financijski.

Financijski okvir: ovo je najčešće okvir o kom najviše ovisi odabir dokumenta za digitalizaciju.

Postoji pet podkriterija. Prvi su troškovi digitalizacije, koji uključuju stvaranje digitalnog dokumenta, restauraciju oštećenih analognih dokumenata, troškove za održavanje digitalne zbirke kroz duži period te za edukaciju stručnjaka. Drugi je trošak samog odabira, jer odabir zahtijeva značajan trud prilikom stvaranja smjernica i definiranja kriterija. Treći kriteriji autori su nazvali „trošak ili gubitak“ što bi značilo da je neophodno odmjeriti prednosti odabira velikih dijelova zbirke u odnosu na važnost dokumenata koji su skuplji za digitaliziranje. Nadalje, idući podkriterij je cijena metapodataka. Na kraju je potencijalni profit, digitalizacija se može iskoristiti za sticanje prihoda i za poboljšanje profila zbirke.

## Digitalizacija gradiva

Digitalizacija gradiva je korak u kojem se odabiru uređaji prikladni za digitalizaciju odabranoga gradiva, određuje potrebna razina kvalitete te provodi sam postupak digitalizacije. Uređaji i postupci su specifični za svaku vrstu gradiva: tekstualno, slikovno, zvučno, filmsko, video te trodimenzionalno. (Stančić, 2012)

### Obrada i kontrola kvalitete nakon digitalizacije

provodi se, prije svega, zbog poboljšanja kvalitete digitaliziranoga gradiva, u dozvoljenim i propisanim okvirima. U ovom koraku se, također, provode i postupci komprimiranja, s gubicima ili bez njih, te postupci dodavanja metapodataka digitaliziranome gradivu kako bi ga se moglo pretraživati i pronalaziti. (Stančić, 2012)

### Zaštita digitaliziranoga gradiva

jest korak u kojem se gradivu dodaju određeni mehanizmi za sprječavanje njegovoga neovlaštenoga korištenja i daljnje distribucije. U tom smislu se gradivu dodaju digitalne vodene oznake. Nadalje, ako je to potrebno, digitalizirano gradivo se može štititi postupcima šifriranja, ali i smještanjem u zaštićeni sustav. (Stančić, 2012)

### Pohrana i prijenos

su važni koraci u procesu digitalizacije. Odabir načina pohrane uvjetovat će mogućnosti prijenosa gradiva do korisnika, brzinu njegove dostupnosti te dugoročnu sigurnost. Stoga nije važno samo odabrati primjereni sustav za pohranu, koji kod većih digitalizacijskih projekata može biti vrlo složen i skup, već odabrati metodu i sustav za izradu sigurnosnih, pričuvnih kopija (engl. back-up) te redovito provoditi izradu takvih kopija prema međunarodno priznatim arhivskim normama. (Stančić, 2012)

### Pregled i korištenje digitaliziranoga gradiva

odnosi se na mogućnosti koje korisnici imaju na raspolaganju, a koje proizlaze iz kvalitete prethodno odrađenih koraka. Naime, korisnicima se može nuditi gradivo visoke, srednje ili niske kvalitete, uz naplatu ili bez nje, odmah ili na zahtjev, putem interneta ili isključivo lokalno u instituciji, uz dozvolu ispisa (u određenoj razini kvalitete) ili bez nje itd. (Stančić, 2012)

### Održavanje digitalnoga gradiva

važno je za svaku instituciju koja ulaže znanje, trud i financijska sredstva u digitalizacijski projekt. S obzirom da se informacijsko-komunikacijska tehnologija, tj. mediji, formati zapisa, protokoli i način komunikacije, neprestano mijenja, gradivo će posve sigurno u nekom trenutku, vrlo skorom u

odnosu na očuvanje analognoga gradiva, postati nečitljivo, neće mu se moći pristupiti ili ga interpretirati. Stoga, radi zaštite svega što su u digitalizacijski projekt uložile, institucije se moraju proaktivno brinuti o održavanju digitalnoga gradiva i to već od trenutka njegovoga nastanka.<sup>31</sup> (Stančić, 2012)

### 3D tehnologija u AKM institucijama

Danas je digitalizacija kulturne baštine dobro ustanovljena aktivnost 3D dokumentiranja baštinskih objekata. Aktivne i pasivne 3D tehnike koriste se od samih početaka, no zahvajujući napretku u razvoju Computer Vision algoritma koji je direktno povezan sa fotogrametrijskim principima, pasivne tehnike postaju dominantne u ovom području.<sup>32</sup> (Guidi, Micoli, Gonizzi, Brannan, Frisher, 2015)

Kulturna baština i tehnologije danas su snažno povezane: suvremene tehnologije vezane uz geomatiku i informacijsku tehnologiju nude potencijalno značajna aplikacije za dokumentaciju, prikazivanje, ostvarivanje i multimedijску komunikaciju kulturne baštine (Böhler et al., 2001). Upotreba 3D tehnologije pri istraživanjima koja se primjenjuje na proučavanje povijesnih građevina postaje uistinu utvrđena metoda za određivanje geometrije struktura, jer pruža sveobuhvatnu i točnu analizu čak i u složenim arhitekturama, otkrivajući čak i geometrijske detalje koje je nemoguće otkriti s tradicionalnim tehnikama. Rezultat je 3D baza podataka koja je korisna za poboljšanje znanja i za stvaranje bilo kakve intervencije usmjerene na očuvanje. Zahvaljujući interakciji s računalnim tehnikama za vizualizaciju i diseminaciju na mreži, geodetske tehnologije, a osobito lasersko skeniranje i fotogrametrija, mogu se učinkovito koristiti u više svrhe od isključivo tehničkih.<sup>33</sup> (Castagnetti, Giannini, Rivola 2017)

U digitalnom dobu, materijalna kulturna baština otkrivena je širokoj publici putem weba, pružajući fotografije, videozapise i tekstualne informacije. Ova vrsta slikovnih i ponekad dinamičnih informacija također se izlaže posjetiteljima prilikom tura u muzejima ili spomenicima, u kioscima koji su dodatni izvor informacija za izloženu baštinu. U tom kontekstu, 3D modeli baštinskih zgrada, prostora i drugih sredstava predstavljaju prednost, jer oni predstavljaju vrlo intuitivno sredstvo prezentacije i komunikacije, pogotovo kada se kombiniraju s animacijom ili kada podržavaju interakciju. Tehnike 3D modela stoga su proteklih godina obuzele kulturnu baštinu,

<sup>31</sup> <https://www.had-info.hr/dokumenti/publikacije/Heritage%20live%20-%20Upravljanje%20bastinom%20uz%20pomoc%20informacijskih%20alata.pdf>

<sup>32</sup> G. Guidi, L. L. Micoli, S. Gonizzi, M. Brannan, B. Frischer. 2015. Image-based 3D capture of cultural heritage artifacts

<sup>33</sup> C., C., M., G., & R., R. (2017). IMAGE-BASED VIRTUAL TOURS AND 3D MODELING OF PAST AND CURRENT AGES FOR THE ENHANCEMENT OF ARCHAEOLOGICAL PARKS: THE VISUALVERSILIA 3D PROJECT. *The International Archives Of The Photogrammetry, Remote Sensing And Spatial Information Sciences*, Vol XLII-5-W1, Pp 639-645 (2017), 639. doi:10.5194/isprs-archives-XLII-5-W1-639-2017  
<https://doaj.org/article/dfbdda4d766b4396b4e7d1ac7f6f4318>

također zbog mogućnosti virtualnog povezivanja stvarnosti različitih epoha u istoj prezentaciji (Bruno & Spallone, 2015).<sup>34</sup>

3D digitalizacija je složen proces koji se sastoji uglavnom od tri faze:

1. Priprema, tijekom koje se odvijaju određene preliminarne aktivnosti koje uključuju odluku o tehnici i metodologiji koju treba usvojiti, kao i mjesto digitalizacije, pitanja planiranja sigurnosti, itd.
2. Digitalni zapis, koji je glavni postupak digitalizacije prema planu iz faze 1.
3. Obrada podataka, koja uključuje modeliranje digitaliziranog objekta putem ujedinjenja djelomičnih skeniranja, geometrijske obrade podataka, obrade teksture, mapiranja teksture itd.<sup>35</sup>(Pavlidis, Koutsoudis, Amaoutoglu, Tsioukas, Chamzas, 2017)

Ovaj opis procesa digitalizacije je kompatibilan sa procesom digitalizacije koji je opisao Stančić (2016) koji smo ranije prikazali, iako je ovaj konkretno vezan za 3D digitalizaciju.

3D digitalizacija kulturnih sadržaja može se uglavnom kategorizirati po veličini predmeta na koje se primjenjuje. Zbog tehničkih ograničenja i zahtjeva za primjenom, postoji razlika između digitalizacije objekata i digitalizacije spomenika. Digitalizacija spomenika u mnogim je slučajevima temeljena na metodama koje uključuju tradicionalne topografske tehnike. S druge strane, digitalizacija objekata je područje kontinuiranog istraživanja i razvoja koje može ponuditi mnogo mogućnosti, u okviru specifičnog plana digitalizacije.<sup>36</sup> (Pavlidis, Koutsoudis, Amaoutoglu, Tsioukas, Chamzas, 2017)

### *Lasersko skeniranje*

Trodimenzionalno (3D) skeniranje definirano je kao metoda prikupljanja podataka, oblika i veličine objekta kao trodimenzionalnog prikaza snimanjem x, y, z koordinata na površini objekta, a putem softvera prikupljene koordinate (točke) pretvaraju se u digitalne podatke.<sup>37</sup>(Nguyen, Aprilia, Khairyanto, Pang, Seet, Tor, 2018) Skeniranje se odvija već poznatom metodom registracije udaljenosti i kuta do određene točke u području snimanja. Rezultat ovakvog načina snimanja je skup trodimenzionalnih XYZ točaka koji se naziva oblak točaka. Prostorna udaljenost između

---

<sup>34</sup> Redweik, P., Cláudio, A., Carmo, M., Naranjo, J., & Sanjosé, J. (2017). Digital preservation of cultural and scientific heritage: involving university students to raise awareness of its importance. *Virtual Archaeology Review*, 8(16), 22-34. doi:<https://doi.org/10.4995/var.2017.4629>

<sup>35</sup> George Pavlidis a, \*, Anestis Koutsoudis a, Fotis Arnaoutoglou a, Vassilios Tsioukas b, Christodoulos Chamzas c. Methods for 3D digitization of Cultural Heritage u Journal of Cultural Heritage 8 (2007) 93e98 [http://www.ipet.gr/~chamzas/chamzas\\_pdfs/publications/200703\\_2\\_elsevier\\_culture.pdf](http://www.ipet.gr/~chamzas/chamzas_pdfs/publications/200703_2_elsevier_culture.pdf)

<sup>36</sup> George Pavlidis a, \*, Anestis Koutsoudis a, Fotis Arnaoutoglou a, Vassilios Tsioukas b, Christodoulos Chamzas c. Methods for 3D digitization of Cultural Heritage u Journal of Cultural Heritage 8 (2007) 93e98 [http://www.ipet.gr/~chamzas/chamzas\\_pdfs/publications/200703\\_2\\_elsevier\\_culture.pdf](http://www.ipet.gr/~chamzas/chamzas_pdfs/publications/200703_2_elsevier_culture.pdf)

<sup>37</sup> W. L. K. Nguyen, A. Aprilia, A. Khairyanto, W. C. Pang, G. G. L. Seet & S. B. Tor (2018) Morphological Box Classification Framework for supporting 3D scanner selection, *Virtual and Physical Prototyping*, 13:3, 211-221, DOI: [10.1080/17452759.2018.1433950](https://doi.org/10.1080/17452759.2018.1433950)

susjednih snimljenih točaka unutar oblaka točaka ovisi o blizini objekta snimanja i tehničkoj specifikaciji samog instrumenta. Većina današnjih skenera može snimiti vrlo guste oblake točaka, pa je tako moguće dobiti točke na snimljenom objektu međusobno udaljene tek jedan milimetar. Oblak točaka može uz svoje prostorne, relativne ili apsolutne, koordinate sadržavati i intenzitet RGB (Red Green Blue) model boje reflektirane površine. To znači, reflektira li se laserska zraka od zelenog lista na drvetu, ta točka će uz pripadajuće koordinate sadržavati i podatak o boji i intenzitetu reflektirane zrake. RGB model boje dobiven je unutarnjom (ugrađenom) ili vanjskom (kombinacija) kamerom, dok se vrijednost intenziteta dobiva iz jačine odbijenog signala.<sup>38</sup>(Miler, Đapo, Kordić, Medvedev, 2007)

Tehnike laserskog skeniranja temelje se na sustavu s laserskim izvorom i optičkim detektorom. Laserski izvor emitira svjetlost u obliku linije ili uzorka na površini objekata, a optički detektor (obično digitalna kamera) detektira tu liniju ili uzorak na objektima.<sup>39</sup> (Pavlidis, Koutsoudis, Amaoutoglu, Tsioukas, Chamzas, 2017) Obradom reflektirajućeg optičkog vala 3D skener uspijeva pronaći u 3D prostoru točku na objektu koja odražava optički izvor energije i time vratiti točku oblaka nakon prikupljanja niza točaka. (Nguyen, Aprilia, Khairyanto, Pang, Seet, Tor, 2018) Aktivni senzori izravno dostavljaju podatke koji sadrže 3D koordinate potrebne za fazu generiranja mreže oblaka točaka. Pasivni senzori pružaju slike koje trebaju daljnju obradu kako bi se dobile koordinate 3D objekta. Nakon mjerenja, podaci moraju biti strukturirani i stvorena je konzistentna poligonska površina za stvaranje realističnog prikaza modelirane scene. Fotorealistička vizualizacija može se naknadno generirati teksturiranjem virtualnog modela s informacijama o slici.<sup>40</sup>(Remondino, El-Hakim 2006)

Pasivno bezkontaktno skeniranje jednostavno snima ambijentalno svjetlo koje se odbija od objekta. U većini slučajeva ovaj sustav koristi fotogrametriju, metodu kojom se dubina izvodi iz razlika između više fotografija istog objekta iz različitih kutova. Kvaliteta trodimenzionalnih modela koji proizlaze iz fotogrametrijskih tehnika je nedosljedna, jer se mora koristiti softver za obradu podataka, a općenito će se kvaliteta digitalizacije razlikovati s obzirom na korišteni hardver i softver. Također, fotogrametrijska rješenja pate u slabom osvjetljenju i općenito vremena za proizvodnju jer se višestruke fotografije moraju snimiti iz više kutova. To je rekao, tehnologija ima znatno niže pragove za učenje i relativno je jeftin, jer očigledan razlog je jedini hardver koji je

---

<sup>38</sup> Miler M., Đapo A., Kordić B., Medved I. (2007): Terestrički laserski skeneri, Ekscentar, no. 10, pp. 35-38

<sup>39</sup> George Pavlidis a, \*, Anestis Koutsoudis a , Fotis Arnaoutoglou a , Vassilios Tsioukas b , Christodoulos Chamzas c. Methods for 3D digitization of Cultural Heritage u Journal of Cultural Heritage 8 (2007) 93e98[http://www.ipet.gr/~chamzas/chamzas\\_pdfs/publications/200703\\_2\\_elsevier\\_culture.pdf](http://www.ipet.gr/~chamzas/chamzas_pdfs/publications/200703_2_elsevier_culture.pdf)

<sup>40</sup> Remondino, Fabio & El-Hakim, Sabry. (2006). Image-based 3D Modelling: A Review. The Photogrammetric Record. 21. 269 - 291. 10.1111/j.1477-9730.2006.00383.x.  
[https://www.researchgate.net/publication/227786426\\_Image-based\\_3D\\_Modelling\\_A\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/227786426_Image-based_3D_Modelling_A_Review)

potreban SLR digitalni fotoaparat ili čak pametan telefon ili tablet, a jedini softver koji je potreban može biti vrlo jeftin, ili čak i trenutno , besplatan (npr. Adobe 123d Catch)<sup>41</sup> (Ahmed, Carter, Ferris 2014)

Digitaliziranje strukturiranim svjetlom ili skriningom djela projiciranjem okomitog prugastog svjetlosnog uzorka na predmet koji se skenira. Uzorak se obično sastoji od sinusoidnih pruga svjetlosti. Uzorak ciklusa kroz različite varijacije, prvenstveno prikazujući pruge različitih širina. Dva napunjena spojena uređaja (CCD) snimaju svaki uzorak u različitim fazama i iz odvojenih kutova. Softver tada izračunava razliku između svake snimljene slike, kao i količine pomicanja od vertikalne podnožne baze. Tako se stvara dubina i rekonstruirani oblak točaka. Strukturirana projekcija svjetlosti / rešetke ima posebne prednosti za skeniranje objekata, jer se skeniranje brzo događa - jedno potpuno skeniranje može se dogoditi za manje od dvije sekunde s rezolucijom koja je usporediva, ako ne i bolja, od laserskih digitalizatora visoke razlučivosti. Tako se brzo može spojiti potpuno spojen 'objekt za vodu' koji se sastoji od višestrukih pojedinačnih skeniranja. Većina strukturiranih jedinica za skeniranje svjetla sastoji se od onoga što su u osnovi 'off-the-shelf' komponente: jedan, modificirani LCD projektor i jedna ili u nekim slučajevima dvije CCD kamere za snimanje slika<sup>42</sup>(Ahmed, Carter, Ferris 2014)

### *Stvaranje digitalnog objekta*

3D modeli pružaju precizan prikaz oblika objekta koji se razmatra. Konzervatorima i laicima je jednostavno dijeliti te modele i komunicirati s njima bez oštećenja objekta. Takvi se modeli koriste i za obrazovanje i komunikaciju u aplikacijama virtualne stvarnosti.<sup>43</sup> (Pelagotti, del Mastio, de Rosa, Piva, 2008) Digitalizacija triangulacijom jedan je od najčešćih oblika stvaranje 3D objekta. Potrebna tehnologija je dobro poznata, skalabilna i relativno pristupačna. Triangulacija uključuje laserski odašiljač kao i senzor. Precizno se mjeri udaljenost između emitera i senzora na jedinici za skeniranje, kao i svaki kut. S obzirom na te podatke izračunava se udaljenost i položaj u trodimenzionalnom prostoru (Boehler i Marbs 2002). Low-end laserske triangulacijske jedinice prilično su prenosive i radit će na otvorenom u polju bez ikakvih smetnji od dnevnog svjetla (ali ne izravnom sunčevom svjetlošću).<sup>44</sup> (Ahmed, Carter, Ferris 2014)

---

<sup>41</sup> Namir Ahmed, Michael Carter & Neal Ferris (2014) Sustainable archaeology through progressive assembly 3D digitization, World Archaeology, 46:1, 137-154, DOI: [10.1080/00438243.2014.890911](https://doi.org/10.1080/00438243.2014.890911)

<sup>42</sup> Namir Ahmed, Michael Carter & Neal Ferris (2014) Sustainable archaeology through progressive assembly 3D digitization, World Archaeology, 46:1, 137-154, DOI: [10.1080/00438243.2014.890911](https://doi.org/10.1080/00438243.2014.890911)

<sup>43</sup> Pelagotti, A.; del Mastio, A.; de Rosa, A.; Piva, A. Multispectral imaging of paintings. IEEE Signal Process. Mag. 2008, 25, 27–36. Registration of 3D and Multispectral Data for the Study of Cultural Heritage Surfaces – researchgate/poruke

<sup>44</sup> Namir Ahmed, Michael Carter & Neal Ferris (2014) Sustainable archaeology through progressive assembly 3D digitization, World Archaeology, 46:1, 137-154, DOI: [10.1080/00438243.2014.890911](https://doi.org/10.1080/00438243.2014.890911)

Trodimenzionalno (3D) modeliranje objekta može se promatrati kao cjeloviti proces koji započinje od prikupljanja podataka a završava vizualno interaktivnim 3D virtualnim modelom na računalu. Često se 3D modeliranje podrazumijeva samo kao proces pretvaranja izmjerene točke u trianguliranu mrežu ("mreža") ili teksturirane površine, dok bi trebao opisati još kompletniji i generalniji proces rekonstrukcije objekata. Trodimenzionalni digitalni modeli potrebni su u mnogim aplikacijama kao što su pregled, navigacija, identifikacija objekata, vizualizacija i animacija.<sup>45</sup> (Remondino, El-Hakim 2006) Različite tehnike mogu se koristiti za izradu 3D geometrijskih modela: procesna generacija, 3D CAD alati, range-based i image-based modeling. Dvije posljednje tehnike zahtijevaju skuplje opremu i potrebu za stvarnim postojanjem objekta koji se treba modelirati. Često nijedna od tih tehnika ne može u potpunosti zadovoljiti sve zahtjeve, posebno kada se bave okruženjem velikih dimenzija, a višestruke tehnike moraju se kombinirati za izradu 3D rekonstrukcija.<sup>46</sup> (Redweik, Claudio, Caramo, Naranjo 2017)

### *Image-based modeling (IBM).*

IBM sustavi, također poznati kao digitalna fotogrametrija, kombiniraju principe digitalne fotogrametrije i computer vision tehnika kako bi generirali 3D model objekta ili scene iz skupa preklapajućih fotografija. IBM sustavi omogućuju ekstrakciju 3D geometrije i informacija o teksturi iz skupa snimljenih ne-kalibriranih preklapajućih fotografija objekta koji će se modelirati iz različitih gledišta. Kvaliteta konačnog 3D modela povezana je s nekoliko čimbenika, kao što je broj snimaka, razlučivost fotoaparata (veličina slike i veličine piksela), tekstura objekta, rasvjeta i softversko rješenje za generiranje modela.<sup>47</sup> (Caldera-Cordero, Polo, 2018) Ovo je široko korišten način za geometrijske površine arhitektonskih objekata ili za precizno modeliranje terena i grada. U većini slučajeva, najimpresivniji i točniji rezultati još uvijek ostaju postignuti s interaktivnim pristupima. IBM metode (uključujući fotogrametrijsko mjerenje) koriste 2D mjerenja slike (korespondencije) za oporavak podataka 3D objekta putem matematičkog modela ili dobivaju 3D podatke pomoću metoda poput oblika iz sjene, oblika iz texture (Kender, 1981.), oblika iz specularnosti, oblik iz konture (medicinske primjene) i oblik iz 2D edgegradienta. Pasivne metode temeljene na slikama prikupljaju 3D mjerenja iz višestrukih prikaza, iako su tehnike za prikupljanje tri dimenzije iz pojedinačnih slika također nužne. IBM metode koriste projektivnu geometriju ili

---

<sup>45</sup> Remondino, Fabio & El-Hakim, Sabry. (2006). Image-based 3D Modelling: A Review. The Photogrammetric Record. 21. 269 - 291. 10.1111/j.1477-9730.2006.00383.x.

[https://www.researchgate.net/publication/227786426\\_Image-based\\_3D\\_Modelling\\_A\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/227786426_Image-based_3D_Modelling_A_Review)

<sup>46</sup> Redweik, P., Cláudio, A., Carmo, M., Naranjo, J., & Sanjosé, J. (2017). Digital preservation of cultural and scientific heritage: involving university students to raise awareness of its importance. *Virtual Archaeology Review*, 8(16), 22-34. doi:<https://doi.org/10.4995/var.2017.4629>

<sup>47</sup> José Miguel Caldera-Cordero & María-Eugenia Polo (2018) Analysis of free image-based modelling systems applied to support topographic measurements, *Survey Review*, DOI: [10.1080/00396265.2018.1451271](https://doi.org/10.1080/00396265.2018.1451271)



model perspektivnog fotoaparata. Vrlo su prenosive i senzori su često jeftini.<sup>48</sup> (Remondino, El-Hakim 2006)

IBM tehnika oslanja se na implementaciju algoritama za automatsko lociranje homolognih točaka podijeljenih između slika. Algoritam zvan struktura pokreta (structure from motion - SfM) omogućuje rekonstrukciju parametara snimanja fotoaparata i rijetke točke objekta ili scena. Kasnije, gustim točkastim oblakom nastaje algoritam Multi-View Stereo (MVS).<sup>49</sup> Faza prikupljanja podataka odnosno fotografija ključan je korak u dobivanju visokokvalitetnih modela. Postupak fotografisanja trebao bi zadovoljiti određene tehničke zahtjeve, kao što je pravilno preklapanje između slika s redoslijedom (općenito više od 60%), dobri uvjeti osvjetljenja i ispravne vrijednosti rezolucije. (Caldera-Cordero, Polo, 2018)<sup>50</sup>

Kako bi se generirao 3D model uz pomoć digitalne fotografije primjenjuju se i softverska rješenja kao što su CMP Web Service<sup>51</sup>, Arc 3D<sup>52</sup> koji su besplane web usluge, a druga dva su Visual SfM<sup>53</sup> i ReMake<sup>54</sup> koji su besplatni softveri. Web usluge podržavaju cijeli proces na svojim poslužiteljima, računajući u oblaku, tako da korisnici ne zahtijevaju snažno računalo; potrebna je samo dobra internetska veza.<sup>55</sup> (Caldera-Cordero, Polo, 2018)

IBM sustavi generiraju nesrazmjerne modele; to jest, rezultat točke oblaka nema apsolutnu mjeru; dobivanje apsolutnog razmjera je ključno pitanje ako želimo usporediti rezultate i izvršiti mjerenja.

---

<sup>48</sup> Remondino, Fabio & El-Hakim, Sabry. (2006). Image-based 3D Modelling: A Review. The Photogrammetric Record. 21. 269 - 291. 10.1111/j.1477-9730.2006.00383.x.

[https://www.researchgate.net/publication/227786426\\_Image-based\\_3D\\_Modelling\\_A\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/227786426_Image-based_3D_Modelling_A_Review)

<sup>49</sup> Multi-view stereo (MVS) je opći pojam kojim se opisuje skupini tehnika koje koriste stereo korespondenciju kao glavni znak i koriste više od dvije slike.

<sup>50</sup> José Miguel Caldera-Cordero & María-Eugenia Polo (2018) Analysis of free image-based modelling systems applied to support topographic measurements, Survey Review, DOI: [10.1080/00396265.2018.1451271](https://doi.org/10.1080/00396265.2018.1451271)

<sup>51</sup> Besplatna web usluga koja služi samo za potrebe istraživanja. Nije potrebno instalirati nijednu aplikaciju na korisničko računalo jer se sva računanja izvode u računalnom klasteru u Centru za percepciju stroja (CMP) Češkog Tehničkog sveučilišta u Pragu. Korisnici moraju biti identificirani u web servisu prije slanja slika. Nakon toga generira se skup podataka, provodi postupak i dodjeljuje XML datoteku za identificirane rezultate. Nekoliko funkcija se može izvesti korištenjem skupa podataka s neorganiziranim slikama ili organiziranim slikama. Nakon dovršetka obrade, korisnici mogu preuzeti sljedeće stavke: položaj fotoaparata, zamršeni oblak točaka s teksturom, mreža sa ili bez tekstuure, tekstura objekta, digitalni elevacijski model, ortofotografija objekta, pa čak i videozapis oko generiranih model.

<sup>52</sup> Arc 3D je web servis sustava za obradu, u kojem korisnici, jednom registrirani, mogu raditi pomoću dvije desktop aplikacije. Prva aplikacija omogućuje prijenos fotografija na poslužitelj pomoću koraka prethodne obrade, koji uključuje ponovno snimanje i provjeru mutnih fotografija. Druga aplikacija omogućuje reviziju generiranog modela nakon preuzimanja iz usluge.

<sup>53</sup> Visual SfM je besplatni izvorni kod koji se izvodi u korisniku računala; stoga, nije potrebno prenijeti slike u oblak. Ova aplikacija zahtijeva grafičku karticu (NVidia), najmanje 16 GB RAM-a i 64-bitni operativni sustav koji može upravljati velikim kapacitetom obračuna i stabilnosti.

<sup>54</sup> ReMake omogućuje pretvaranje skupa fotografija koji se preklapaju (u JPEG formatu) ili skenova u 3D mreže, a zove se "aplikacija za desktop sa oblakom". Ova definicija podrazumijeva da neki alati ne zahtijevaju vezu s internetom i mogu koristiti snagu oblaka. Moguće je izraditi 3D modele na mreži, obavljati rekonstrukciju u oblaku ili izvan mreže, obavljati rekonstrukciju na korisničkom računalu.

<sup>55</sup> José Miguel Caldera-Cordero & María-Eugenia Polo (2018) Analysis of free image-based modelling systems applied to support topographic measurements, Survey Review, DOI: [10.1080/00396265.2018.1451271](https://doi.org/10.1080/00396265.2018.1451271)



Da bi se riješio ovaj problem, trodimenzionalne transformacije su provedene pomoću referentnih podataka i koordinata istih točaka mjerenih na modelima upotrebom softvera. Nakon što su modeli bili skalirani, sljedeći korak uključuje usporedbu referentnih podataka s izmjerenim podacima kako bi se procijenila prikladnost ovih 3D modela za obavljanje preciznih topografskih mjerenja. Razmak između različitih ciljeva ili oznaka izračunat je pomoću referentnih podataka, a zatim su usporedene iste udaljenosti izmjerene prema mjerenim modelima softveru. (Caldera-Cordero, Polo, 2018)

### *Range-based modeliranje*

Ova metoda izravno obuhvaća 3D geometrijske podatke nekog objekta. Temelji se na skupim (barem za sada) aktivnim senzorima i može pružiti detaljno i precizno predstavljanje većine oblika. Senzori se oslanjaju na umjetna svjetla ili projekciju uzoraka (Rioux i sur., 1987; Besl, 1988). Tijekom godina, strukturirano svjetlo (Maas, 1992, Gaertner i sur., 1996; Sablatnig i Menard, 1997), kodirano svjetlo (Wahl, 1984) ili lasersko svjetlo (Sequeira et al., 1999) korišteno je za mjerenje objekata. Oni postaju vrlo uobičajeni alat za znanstvenu zajednicu, ali i za ne-stručne korisnike kao što su stručnjaci iz kulturnog naslijeđa. Ti su senzori još uvijek skupi, dizajnirani za specifične raspone ili aplikacije i na njih utječu reflektirajuća svojstva površine. (Remondino, El-Hakim 2006) <sup>56</sup>

Kada govorimo o arhitektonskoj i urbanoj baštini, nedavna smanjenja troškova vezanih uz vrijeme leta i fazne laserske skenere zapravo ubrzavaju zamjenu tradicionalnih topografskih instrumenata (tj. totalnih stanica) s tehnologijama temeljenim na rasponu za prikupljanje 3D podataka vezanih uz izgrađenu baštinu. Ako se uspoređuju s istraživanjima izvedenim pomoću tradicionalnih topografskih tehnologija, one na bazi raspona nude širok raspon prednosti, ali zahtijevaju i različite vještine, postupke i vremena.

Cjelokupni proces 3D modeliranja temeljen na slikama sastoji se od nekoliko poznatih koraka: dizajn (senzor i geometrija mreže); 3D mjerenja (točke oblaci, linije, itd.); strukturiranje i modeliranje (segmentacija, stvaranje mreža / mreža itd.); teksture i vizualizacije. (del Pazo, Herrero-Pascual, 2016) <sup>57</sup>

---

<sup>56</sup> Remondino, Fabio & El-Hakim, Sabry. (2006). Image-based 3D Modelling: A Review. The Photogrammetric Record. 21. 269 - 291. 10.1111/j.1477-9730.2006.00383.x.

[https://www.researchgate.net/publication/227786426\\_Image-based\\_3D\\_Modelling\\_A\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/227786426_Image-based_3D_Modelling_A_Review)

<sup>57</sup> Remondino, Fabio & El-Hakim, Sabry. (2006). Image-based 3D Modelling: A Review. The Photogrammetric Record. 21. 269 - 291. 10.1111/j.1477-9730.2006.00383.x.

[https://www.researchgate.net/publication/227786426\\_Image-based\\_3D\\_Modelling\\_A\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/227786426_Image-based_3D_Modelling_A_Review)

### **3D vizualizacija temeljena na sferičnim panoramskim slikama**

Modeliranje na temelju slika je dokazana tehnologija za fotorealističku rekonstrukciju objekata kulturne baštine. Slike koje se mogu koristiti za ovaj zadatak mogu biti planarne ili panoramske slike. Panoramske slike za sferičnu fotogrametriju s jednodijelnom projekcijom dobivene su povezivanjem različitih fotografija, snimljene iz iste točke i okretanjem oko pivoa. (Koeva, 2016)

### **3D geometrijsko i fotorealističko modeliranje na temelju arhitektonskog CAD crteža**

Kada govorimo o ovoj metodi bitno je naglasiti da se za modeliranje kao input koriste samo CAD crteži. Zato se za samo modeliranje koristi softver koji mora podržavati ovaj format inputa.

Primjerice može se koristiti AGK Visual Reality koji je proizvod AutoDesk-a. (Koeva 2016)

Upotrebom Visual Reality-a mogu se realizirati atraktivne animacije - bez puno učenja, vremena i troškova u AutoCAD okruženju. Softver je kompatibilan s VESTRA i Autodeskovim proizvodima AutoCAD Civil 3D, AutoCAD i AutoCAD Map 3D.<sup>58</sup>

### **3D modeliranje iz stare fotografije (primjer digitalnaa rekonstrukcija The Old Imperial Theatra, Tokyo, Japan**

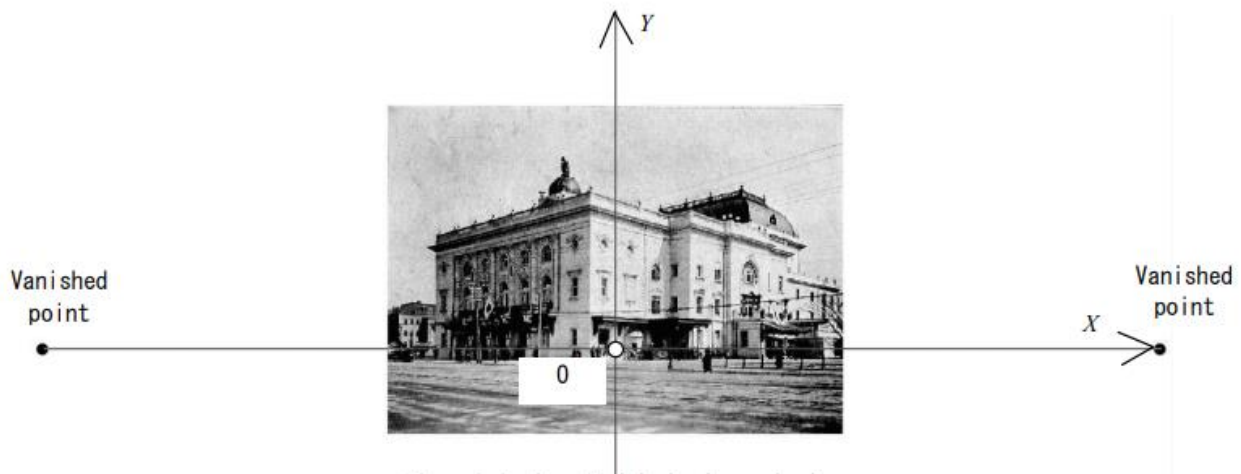
3D model može se stvoriti i iz starih fotografije, ova metoda je korisna ukoliko se radi o već uništenoj baštini. Primjer za ovakav projekat je digitalna rekonstrukcije The Old Imperial Theatra u Tokyo-u. Kažalište je izgrađeno 1911. ali je propalo godinama, te je 1965. srušeno i 1966. je izgrađena nova građevina. Kunni i Sakamoto (2016) opisali su proces stvaranja ovakvog modela. Kako bi se prikupili 3D podaci korištena je teorija fotogrametrije i fotografija.(slika) Problem je bila koordinata dubine (Z) pa su se znanstvenici (Kunii i Sakamoto) vodili prtpostavkom da je fotografije koncipirana dvostrukom perspektivom pa su izračunate točke nestajanja (vanishing points) odnosno točke u kojima se paralelne linije koje se odmiču ukoliko se promatraju iz određene perspektive izgledaju kao da se konvergiraju.(slika)



Slika 1Fotografija koja je korištena za rekonstrukciju i točke nestajanja

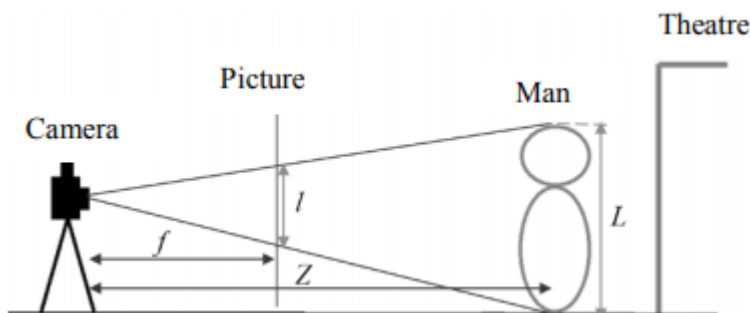
<sup>58</sup> Preuzeto 12.9.2018. s <https://www.akgsoftware.de/produkte/akg/visual-reality/>

Sljedeći korak je prikupljanja koordinata sa fotografije. Nakon što su određene Y, X koordinate (slika 2.) prikupljeno je još 120 mjernih točaka.



Slika 2. Koordinata X, Y

Idući korak je pizračunavanje žarišne duljine, za dobijanje točnih 3D koordinata potrebno je koristiti indeks koji se nalazi na fotografiji, pa je korišten indeks visine muškarca koji se može uočiti na fotografiji (za visinu je uzeta prosječna visina muškarca u Japanu u tom periodu, koja je iznosila 155cm). Uz pomoć ovog indeksa izračunate su i druge vrijednosti poput dužine i dubine.

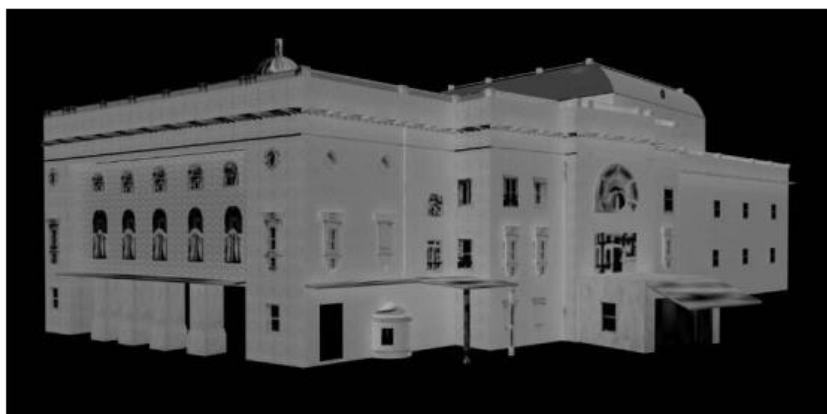


Slika 3. Geometrijski odnos, kamere, fotografije i čovjeka

Na slici 3. Možemo vidjeti geometrijski odnos kamere, fotografije i čovjeka, a odnos dužine (Z), žarišne duljine (f), visine čovjeka (L) i visine na fotografiji (l) izražen je formulom:

$$Z = \frac{f \cdot L}{l}$$

Kada su izračunate sve potrebne koordinate (svih 120 točaka) napravljen je 3D model. (slika 4.)



(a) Front side



(b) Left side



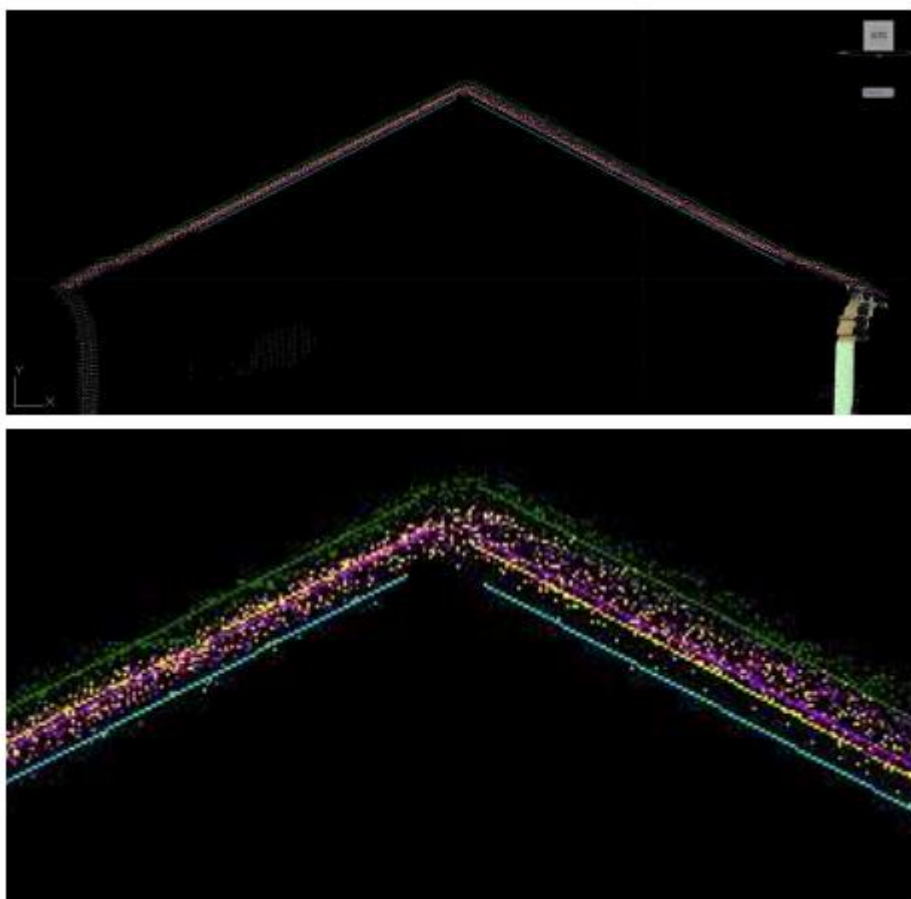
(c) Close up

Slika 4. 3D model The Old Imperial Theatra

### 3D digitalizacija nepokretnih kulturnih dobara

Povijesne građevine i spomenici vrijedne su konstrukcije za područje u kom se nalaze. Degradaciju njihovih građevinskih materijala uzrokuju uglavnom okolišni čimbenici kao što su onečišćenje i meteorološki uvjeti. Naime, prisutnost vode igra važnu ulogu u procesu degradacije kamena. Time se ubrzavaju procesi koji utječu na otapanje i cikluse mraza / odmrzavanja, među ostalima, što omogućuje stvaranje crne kore na površini stijene što rezultira mehaničkim i kemijskim degradiranjem kamena. Stoga je upotreba nekontaktnih i nerazornih tehnologija za proučavanje kamenih šteta važna za očuvanje zgrada i za odabir najbolje tehnike restauracije.<sup>59</sup>(del Pazo, Herrero-Pascual, 2016) Znanstvenici iz područja kulturne baštine, kao što su arheološka dokumentacija, praćenje povijesnih građevina, očuvanje i restauracija, studije otkrivanja promjene u krajoliku, sve se većinski temelje na izgledu i evoluciji artefakata tijekom vremena. Da bi to učinili, povijesno koriste fotografije, pa je stoga lako razumjeti vezu između fotografije kulturne baštine i

(danas) digitalne fotogrametrije. Ne radi se samo o snimanju povijesnih artefakata (od pejzaža do pokretnih objekata), s obzirom da se 3D informacije sada mogu obrađivati i proizvesti nove informacije o detaljnom obliku površine gdje se boje mogu sakriti ili zamijeniti kako bi istaknuli specifične značajke (Cantoro, 2015 u Cantoro, 2017). Digitalna fotogrametrija ubrzala je napredak digitalizacije kulturne baštine posljednjih godina. Kombinirana upotreba digitalnih slika visoke razlučivosti, Computer Vision kodova i novih sustava za nabavu slika, kao što su RPAS (Remote Piloted Aircraft Systems), značajno su povećali potencijal tehnike. (Bolognesi, i dr., 2014) RPAS sustavi su doživjeli brzu evoluciju, osobito zbog mikro-RPAS (Nex i Remondino, 2014. Turner i sur., 2012; Mancini i sur., 2013, u Bolognesi, i sur. 2018), otvarajući put integraciji zračnih i zemaljskih snimaka iz blizine (close range). Na taj način sada je moguće stvoriti precizne digitalne modele cijelih zgrada, uključujući krove i dijelova koji su nedostupni skeneru (Hashim i sur., 2012. u Bolognesi, i sur. 2018)



Slika 5. Oblaci točaka terestričkog, laserskog skenera i RPAS-a

Na slikama (slika 1.) možemo vidjeti usporedbu oblaka točaka krova dvorca snimka terestričkog laserskog skenera i fotogrametrije RPAS-a. Istraživanje je rađeno na Delizia Estense del Verginese,

renesansni dvorac smješten u pokrajini Ferrara (Italija). Na fotografiji uvećanog snimka poprečnog presjeka (odjeljak 2), linija u cyan boji uklapa se u oblak terestričkog laserskog skenera, a zelene, žute i ljubičaste one odgovaraju fotogrametrijskim oblacima od 40%, 80%, 60% skupova podataka.

Terestrički laserski skeneri i multispektralni digitalni fotoaparati su dvije različite tehnologije koje su prikladne za ovakve studije. Oni su nerazorni i neinvazivni senzori koji omogućuju istraživačima da steknu veliku količinu geometrijskih i radiometrijskih informacija diljem zgrade s velikom točnošću i za kratko vrijeme akvizicije. Proceduralno modeliranje sastoji se od modeliranja prema pravilima i vrlo je učinkovito kada se bavi velikim brojem sličnih objekata u 3D (npr. Ulice, zgrade, stabla Grad). Prema vrijednostima brojnih atributa, pravilo, kratka rutina, primjenjuje se na svaki pojedini objekt koji generira 3D geometriju i izgled. Često se koristi za stvaranje virtualnih okruženja poput igrališta i 3D gradskih modela<sup>60</sup>

## Terestrički laserski skeneri

Terestrički skener radi na principu kombiniranja udaljenosti s dva unutarnja kutna mjerenja rotirajućih ogledala skenera, nakon čega se može odrediti sferni koordinatni sustav centriran na skener i bilo koja točka na površini objekta može se snimiti pomoću ovog sfernog koordinatnog sustava. Skup koordinata koji predstavljaju skenirani objekt je takozvani oblak točaka. Općenito, skener omogućuje da za svaku snimljenu točku detektiraju dvije vrste informacija: položaj, kao skup koordinata i reflektanciju, kao odnos između emitirane i reflektirane faze (ili energije) laserskog vala.<sup>61</sup> (Constanzo, Minasi, Casula, Musacchio, Buongiorno 2015)

---

<sup>60</sup> Redweik, P., Cláudio, A., Carmo, M., Naranjo, J., & Sanjosé, J. (2017). Digital preservation of cultural and scientific heritage: involving university students to raise awareness of its importance. *Virtual Archaeology Review*, 8(16), 22-34. doi:<https://doi.org/10.4995/var.2017.4629>

<sup>61</sup> Costanzo, Antonio; Minasi, Mario; Casula, Giuseppe; Musacchio, Massimo; Buongiorno, Maria F. 2015. "Combined Use of Terrestrial Laser Scanning and IR Thermography Applied to a Historical Building." *Sensors* 15, no. 1: 194-213. <https://doi.org/10.3390/s150100194>



Slika 6 Terestrički skener ( Lindoskog i dr. 2016.)

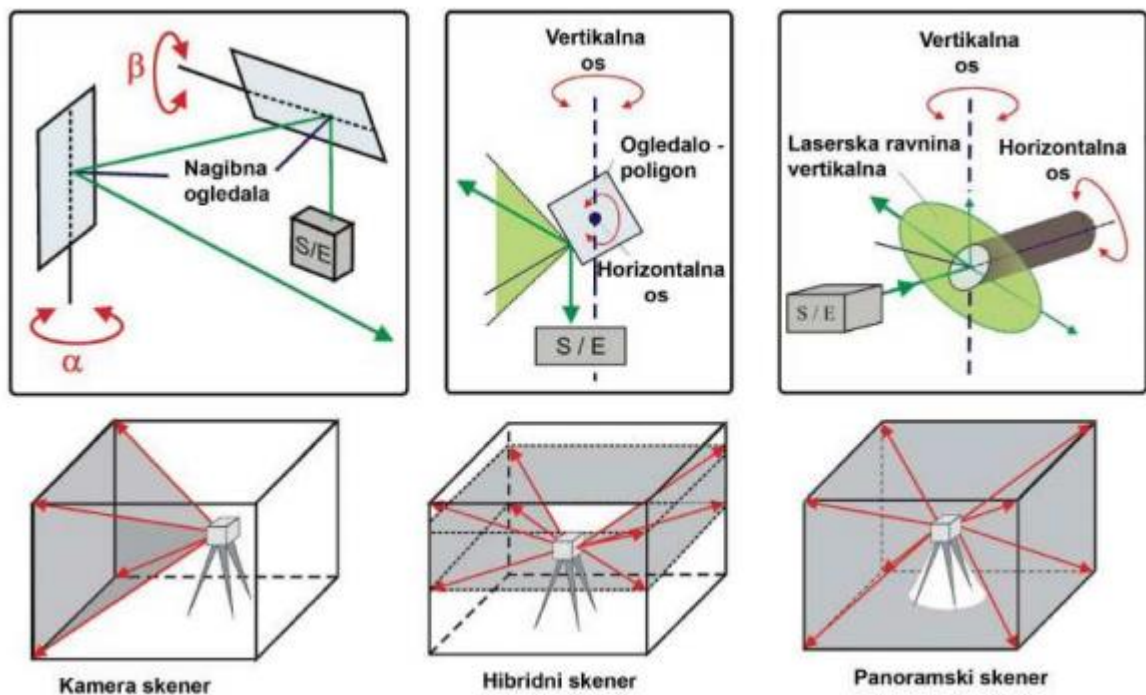
Terestričke laserske skenere možemo podijeliti prema načinu snimanja, prema načinu mjerenja udaljenosti i prema načinu prikupljanja oblaka točaka. Ukratko ćemo pojasniti vrste terestričkih laserskih skenera prema ovim podjelama.

### *Podjela prema načinu snimanja*

Krenut ćemo od skenera-kamera koji snimaju uz pomoć dva sinkronizirana ogledala (horizontalno i vertikalno) koja usmjeravaju lasersku zraku. Ovaj skener ima ograničen prostor snimanja jer snima samo ono što se trenutno nalazi u prozoru. Nadalje tu je panoramski skener koji skenira sve oko sebe sem onog što se nalazi ispod njega. Snima po principu rotacije jednog ogledala koje usmjerava lasersku zraku u vertikalnom kutu od odprilike 310 stupnjeva i rotacijom cijelog postolja skenera za 360 stupnjeva oko vertikalne osi. Na kraju postoje hibridni skeneri koji imaju horizontalni prostor snimanja 360 stupnjeva dok je on po vertikalnoj osi limitiran na 60. Sadrži rotacijsku prizmu koja se rotira oko horizontalne osi i skenira sve u vertikalnom kutu 60 stupnjeva u trenutnom smjeru gledanja a cijeli se instrument rotira oko vertikalne osi za 360 stupnjeva.<sup>62</sup> (Miler, Đapo, Kordić, Medved 2007)

<sup>62</sup> Miler M., Đapo A., Kordić B., Medved I. (2007): Terestrički laserski skeneri, Ekscentar, no. 10, pp. 35-38



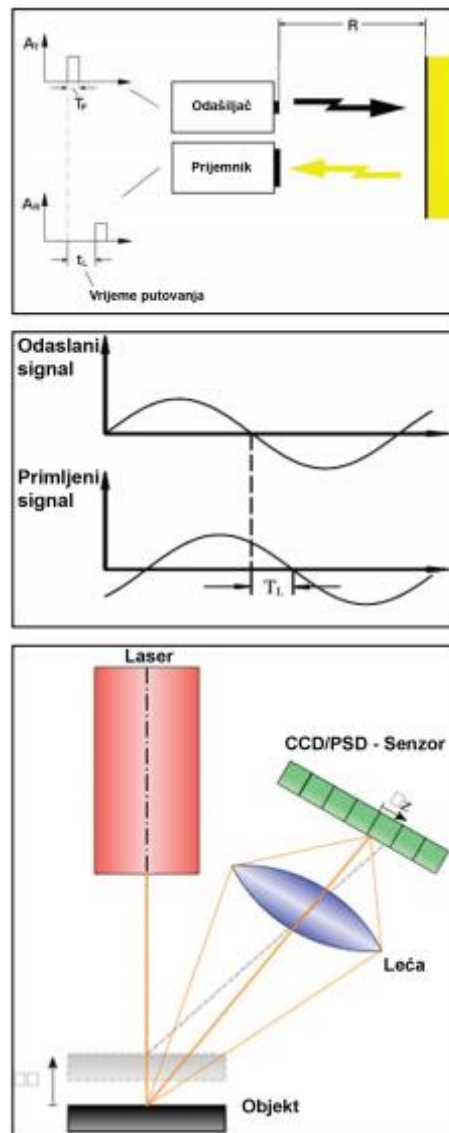


Slika 7. Podjela skenera po načinu snimanja



### Podjela skenera prema načinu mjerenja udaljenosti

Prva vrsta skenera kog ćemo pomenuti je pulsni skener koji radi na principu mjerenja vremena između odaslanog i primljenog signala, doseg mu je 1km. Sljedeći je fazni skener, ovaj skener mjeri razlike u fazi odaslanog i primljenog signala, doseg mu je 100m. Na kraju spomenut ćemo tijangulacijski skener koji radi na principu optičke triangulacije, laserska se zraka projicira na objekt i registrira se na senzoru koji je smješten na poznatoj udaljenosti od izvora zrake. U terestričkoj laserskoj izmjeri najčešće se koristi pulsno mjerenje<sup>63</sup> (Miler, Đapo, Kordić, Medved 2007)



Slika 8 Podjela skenera prema načinu mjerenja udaljenosti

<sup>63</sup> Isto

### *Podjela prema načinu prikupljanja oblaka točaka*

Kada se govori o načinu prikupljanja oblaka točaka bitno je napomenuti da postoje dvije vrste oblaka točaka: georeferencirani i lokalni oblaci točaka. Skeneri bez kompenzatora prikupljaju lokalne oblake točaka koje je kasnije potrebno georeferencirati u obradi podataka. A skeneri sa dvostranim kompenzatorom prikupljaju georeferencirane oblake točaka.<sup>64</sup> (Miler, Đapo, Kordić, Medved 2007)

ScanStation C10 je terestrički laserski skener koji je idealan za primjenu prilikom prikupljanja podataka o arhitekturi uzimajući u obzir mogućnosti osiguravanja koherentnosti vertikalne komponente zahvaljujući unutarnjem dvostranom kompenzatoru.<sup>65</sup> (Castagnetti, Giannini, Rivola 2017) Unutarnji dvostrani kompenzator omogućava mjerenja na jednak način kao i klasični geodetski instrumenti - razvijanje poligonskog vlaka, iskolčenje točaka, mjerenje samo jedne karakteristične točke i sl. Tako prikupljeni podaci (oblak točaka) mogu se georeferencirati već na terenu i nije potrebno uklapanje snimljenih oblaka točaka naknadnom obradom.<sup>66</sup> (Miler, Đapo, Kordić, Medved 2007) Djelotvorni radni raspon ovog uređaja je od +/- 1-200 m (do 300 m s 90% refleksijom). Motorizirana glava omogućuje skeniranje kompletnog područja 360 stupnjeva za 270 stupnjeva. Podaci se prikupljaju brzinom od 50.000 boda u sekundi i mogu se pohraniti na licu mjesta ili na bežičnom ili žičnom prijenosnom računalu. C10 ima niz značajki koje ga čine posebno učinkovitima. Na primjer, ima mogućnost automatskog prikupljanja mogućnosti za stjecanje ciljeva koje brzo omogućuju integriranje kontrolnih točaka pregleda s podacima skeniranja. Ima ugrađenu video kameru koja se može koristiti za upravljanje / planiranje skeniranja; slike ovog fotoaparata automatski se poravnavaju s skenom kako bi se teksturirali oblaci točaka. Objavljene specifikacije ukazuju da je točnost jednog mjerenja 6 mm u položaju i dubine 4 mm (u rasponu do 50 m).<sup>67</sup>

Pomenuti skener korišten je u projektu VisualVersilia 3D. Projekt je pokrenut kako bi se očuvala baština Versilie te kako bi se povećala njena dostupnost javnosti. Rekonstrukcija u digitalnom obliku je bila najefikasniji način da se postignu zadati ciljevi. Čim je skener završi prikupljanje podataka, iz svake lokacije na kojoj su se radila skeniranja napravljene su sferne fotografije (360 °) sa HDR (High Dynamic Range) modom. Prikupljanje slika izvršeno je pomoću eksterne kamere

---

<sup>64</sup> Miler M., Đapo A., Kordić B., Medved I. (2007): Terestrički laserski skeneri, Ekscentar, no. 10, pp. 35-38

<sup>65</sup> C., C., M., G., & R., R. (2017). IMAGE-BASED VIRTUAL TOURS AND 3D MODELING OF PAST AND CURRENT AGES FOR THE ENHANCEMENT OF ARCHAEOLOGICAL PARKS: THE VISUALVERSILIA 3D PROJECT. *The International Archives Of The Photogrammetry, Remote Sensing And Spatial Information Sciences, Vol XLII-5-W1, Pp 639-645* (2017), 639. doi:10.5194/isprs-archives-XLII-5-W1-639-2017  
<https://doaj.org/article/dfbdda4d766b4396b4e7d1ac7f6f4318>

<sup>66</sup> Miler M., Đapo A., Kordić B., Medved I. (2007): Terestrički laserski skeneri, Ekscentar, no. 10, pp. 35-38

<sup>67</sup> <http://gmvc.cast.uark.edu/scanning-2/hardware/leica-c10-scan-station/>

Canon EOS 5D mark II<sup>68</sup> s kalibriranim objektivom od 35 mm, kako bi se dobile kvalitetne sferne fotografije koje su imale dvostruku svrhu: prva svrha je bilo spajanje panorame sa oblakom točaka koje su dobivene skeniranjem sa istog mjesta tako da se obogaćuje fotorealistički izgled; drugo, panorame se zatim koriste za stvaranje virtualnog obilaska stranice koja omogućuje svakom turistu daljinski posjet i cijelu web stranicu, čime se omogućuje i potiče stvarni turizam na licu mjesta. Atrakcija dolazi iz online interaktivne turneje koja omogućuje slobodno kretanje unutar krajolika i klikanje na bilo koji hotspot. Tura je izrađena u softveru Easypano Tourweaver v.7.98<sup>69</sup>, koji se sastoji od ubacivanja panorame, stvaranja predložene staze i još uvijek omogućuje besplatnu navigaciju, umetanje hotspot-a i dodavanje veze za pristup mnogim vrstama multimedijjskih sadržaja sadržaje poput videozapisa, audio datoteka, slika, dokumenata, vanjskih veza i tako dalje.<sup>70</sup> (Castagnetti, Giannini, Rivola 2017)



Slika 9. Model sačinjen od oblaka točaka prikupljenih terestričkim, laserskim skenerom



Slika 10. Virtualni obilazak atrijs Versilia 3D



Slika 11. 3D model atrijs

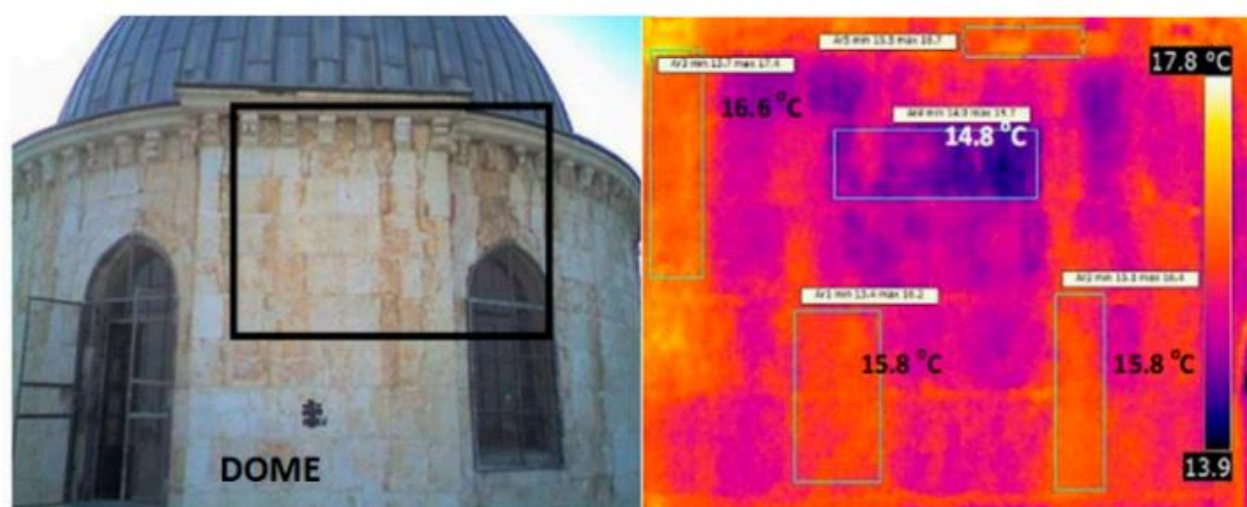
<sup>68</sup> <https://www.dpreview.com/reviews/canoneos5dmarkii>

<sup>69</sup> [www.easypano.com](http://www.easypano.com)

<sup>70</sup> C., C., M., G., & R., R. (2017). IMAGE-BASED VIRTUAL TOURS AND 3D MODELING OF PAST AND CURRENT AGES FOR THE ENHANCEMENT OF ARCHAEOLOGICAL PARKS: THE VISUALVERSILIA 3D PROJECT. *The International Archives Of The Photogrammetry, Remote Sensing And Spatial Information Sciences*, Vol XLII-5-W1, Pp 639-645 (2017), 639. doi:10.5194/isprs-archives-XLII-5-W1-639-2017 <https://doaj.org/article/dfbdda4d766b4396b4e7d1ac7f6f4318>

### Upotreba infracrvene tehnologije u digitalizaciji baštine

Aktivna termografija omogućuje strukturno ispitivanje građevinskih elemenata. Pomoću infracrvene tehnologije mogu se dobiti informacije o elementima zgrade, njihovom položaju, obliku, svojstvima materijala i stanju propadanja, što se ne može primijetiti vizualnim pregledom. Tijek topline u materijalu mijenja se zbog prisutnosti anomalija, a infracrveno istraživanje koristi ovo načelo za mapiranje lokaliziranih razlika u površinskoj temperaturi uzrokovane promjenama toplinskog toka. To omogućava dobivanje mape unutarnjih anomalija.<sup>71</sup> (Spodek, Rosina 2009)



Slika 12 Katolička katedrala in Holy Sepulchre Temple, lijevo je dio koji je bio ispitivan a desno termogram tog dijela (Moropoulou i sur. 2018)

Budući da su napredne metode bez razaranja poput radara, ultrazvučnih i zvučnih metoda uglavnom pogodne za otkrivanje i karakterizaciju nehomogenosti dublje od 5 do 10 cm, aktivna termografija omogućuje ispitivanje materijala koji se nalazi na površini pa do dubine od 10 cm. Za nerazorna ispitivanja povijesnih građevinskih struktura s aktivnom termografijom, maksimalni porast temperature mora biti dogovorena u suradnji s restauratorima. Tijekom zagrijavanja mora se uvjeriti da se povećanje temperature na površini ne prekoračuje, tj. tijekom zagrijavanja treba promatrati temperaturu površine.<sup>72</sup> (Maierhofer, Krankenhagen, Röllig, Schlichting, Schiller, Seidl, Mecke, Kalisch, Hennen, Meinhardt 2011) Infracrveno zračenje nevidljivo pretvara u vidljivi prikaz.

<sup>71</sup> Jonathan Spodek & Elisabetta Rosina (2009) Application of Infrared Thermography to Historic Building Investigation, Journal of Architectural Conservation, 15:1, 65-81, DOI: [10.1080/13556207.2009.10785040](https://doi.org/10.1080/13556207.2009.10785040)

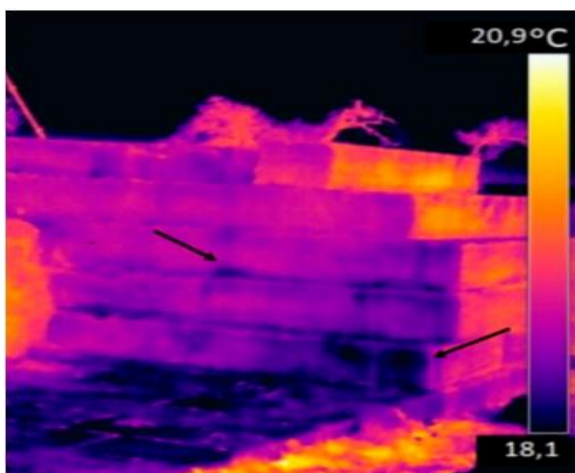
<sup>72</sup> Ch. Maierhofer, R. Krankenhagen, M. Röllig, J. Schlichting, M. Schiller, Th. Seidl, R. Mecke, U. Kalisch, Ch. Hennen, J. Meinhardt. (2011) [Investigating historic masonry structures with a combination of active thermography and 3D laser scanner](#). *Quantitative InfraRed Thermography Journal* 8:1, pages 115-118.



Postupak se sastoji u tome da se termovizijskom kamerom snima predmet ili objekt i da se analizira toplinsko zračenje toga objekta.<sup>73</sup> (Vokić, Zlodi 2011) Aktivna termografija općenito je vrlo pogodna za procjenu sljedećih tipičnih problema testiranja koji se javljaju na površini ili u blizini površine: otkrivanje delaminacije žbuke, položaj delaminacije jačanja materijala, istraživanje pukotina, lokalizacija montažnih dijelova iza žbuke, karakterizacija zidne strukture iza žbuke, lokalizacija praznih spojeva, lokalizacija praznina i spaliranje, detekcija povišene vlažnosti.<sup>74</sup> (Maierhofer, Krankenhagen, Röllig, Schlichting, Schiller, Seidl, Mecke, Kalisch, Hennen, Meinhardt 2011) Od interesantnijih mogućnosti termografije treba istaknuti da se tom metodom može otkriti vlaga u zidovima i tamo gdje nije vidljiva golim okom, mogu se naći rupe, indicirati skrivene prostorije ili razne građevinske „anomalije” koje nisu vidljive golim okom ili struktura zida ispod žbuke.



Slika 13. Područja s većim sadržajem vlage



Slika 14. Detekcija područja gdje je mahovina opažena makroskopski

<sup>73</sup> Vokić, D. i Zlodi, G. (2011). Dokumentiranje baštine prirodnoznastvenim metodama. *Godišnjak zaštite spomenika kulture Hrvatske*, 35 (35), 181-207. Preuzeto s <https://hrcak.srce.hr/117647>

<sup>74</sup> Ch. Maierhofer, R. Krankenhagen, M. Röllig, J. Schlichting, M. Schiller, Th. Seidl, R. Mecke, U. Kalisch, Ch. Hennen, J. Meinhardt. (2011) [Investigating historic masonry structures with a combination of active thermography and 3D laser scanner](#). *Quantitative InfraRed Thermography Journal* 8:1, pages 115-118.

Termografija je postala iznimno važna dijagnostička tehnika za pronalaženje građevinskih nedostataka radi povećanja energijske efikasnosti.<sup>75</sup> (Vokić, Zlodi 2011) Kada je u pitanju snimanje baštinskih građevina infracrvena kamera mora ispuniti određene uslove:

- spectralna osjetljivost na području atmosferskog prijenosa (3 do 5 mm ili 8 do 12 mm). Između 8 i 12 mm, intenzitet zračenja pri relevantnim temperaturama je mnogo veći, ali između 3 i 5 mm, povećava se osjetljivost na promjene temperature detekcije.
- toplinske slike trebaju se snimiti s minimalnom brzinom prikaza od 5 do 10 Hz za praćenje brzih procesa hlađenja (linija ili žarišna ravnina koja se sastoji od nekoliko detektora će biti poželjna u usporedbi sa sustav za skeniranje s jednim detektorom).
- Minimalna razlučivost temperature: 0,07 K ili manje.
- Prostorna razlučivost  $\frac{1}{4}$  2 m rad.
- Iako su najvažnije informacije u aktivnoj termografiji različita infracrvena zračenja površine, fotoaparat mora biti kalibriran na temperaturi između 10 i 100 ° C. To bi moglo biti korisno za bolje određivanje početnih toplinskih uvjeta strukture i za snimanje ekoloških utjecaji.<sup>76</sup> (Maierhofer, Krankenhagen, Röllig, Schlichting, Schiller, Seidl, Mecke, Kalisch, Hennen, Meinhardt 2011)

Prve primjene IRT-a zgradama i umjetničkim predmetima mogu se naći u znanstvenoj literaturi 1970. Najčešći je pristup bio kvalitativna analiza temeljena na usporedbi između područja pod istragom i usporedive zone koja je bila zvuk. Tijekom 1980-ih razvijeni su termalni matematički modeli koji poboljšavaju kvalitativne procjene raspodjele temperature u građevinskim materijalima. Tijekom posljednjeg dijela osamdesetih godina započela je primjena laboratorijska infracrvene tehnologije u području kulturne baštine kako bi se definirali pouzdani postupci za primjenu na terenu. Da bi se definitivno razvio kvantitativni pristup, termalne anomalije povezane s lokalnim toplinskim karakteristikama materijala i sa nedostacima ispitivanog dijela.<sup>77</sup> (Spodek, Rosina 2009)

## Terestrički laserski skeneri sa termalnom kamerom

Korištenje infracrvene toplinske (IRT) slike je moćan alat za provjeru i obavljanje nerazornih ispitivanja građevinskih elemenata. Analiza termografskih podataka može omogućiti prepoznavanje anomalija koje bi inače bile neotkrivene prije nego što se evoluiraju u štetu strukture. Infracrvena

---

<sup>75</sup> Vokić, D. i Zlodi, G. (2011). Dokumentiranje baštine prirodnoznanstvenim metodama. *Godišnjak zaštite spomenika kulture Hrvatske*, 35 (35), 181-207. Preuzeto s <https://hrcak.srce.hr/117647>

<sup>76</sup> Ch. Maierhofer, R. Krankenhagen, M. Röllig, J. Schlichting, M. Schiller, Th. Seidl, R. Mecke, U. Kalisch, Ch. Hennen, J. Meinhardt. (2011) [Investigating historic masonry structures with a combination of active thermography and 3D laser scanner](#). *Quantitative InfraRed Thermography Journal* 8:1, pages 115-118.

<sup>77</sup> Jonathan Spodek & Elisabetta Rosina (2009) Application of Infrared Thermography to Historic Building Investigation, *Journal of Architectural Conservation*, 15:1, 65-81, DOI:

termografija snažna je nerazorna i nekontaktna dijagnostička tehnika temeljena na mjerenju toplinske energije i njezinoj pretvorbi u električni signal, što predstavlja termičku digitalnu sliku. (Costanzo, Minasi, Casula, Musacchio, Buongiorno, 2015) Sekvenca mjerenja terestričkog laserskog skenera u koji je ugrađena termalna kamera sadrži sken koji stvara oblak točaka (XYZ i I), nakon čega termalna kamera stvara slike koje se kroz firmware kombiniraju u panoramu. Na osnovu zajedničkih različitih točaka koje se identificiraju ručno ili automatski, LaserControl V 8.8.0 boji oblak točaka koristeći podatke iz termalne panorame. Tokom procesuiranja termalne slike definira se (otkriva) materijal površine koja se ispituje. Konačni produkt skena je oblak točaka u kom je svaka točka definirana intenzitetom i temperaturnim vrijednostima a ne samo sa koordinatama. Rezultat termografskog mjerenja prezentira se digitalnom termografskom slikom (termogramom)<sup>78</sup>, na kom je svaka temperaturna vrijednost predstavljena određenom bojom. Tijekom mjerenja i termografske analize mora se uzeti u obzir koeficijent zračenja materijala od kog je objekt napravljen kao i stanje okoline koja može da izobliči vrijednosti na termogramu. (Kowalska, Zaczek-Peplinska 2017)<sup>79</sup> Novu eru upotrebe termalnih podataka započela je kompanija Zoller + Frölich (Z+F), koja je predstavila tržištu termalnu kameru integriranu sa terestričkim laserom. Kamera je jednostavna za montiranje, spaja se sa skenerom putem USB-a i dostupna je za IMAGER 5010, 5010C, 5010X.<sup>80</sup>

#### Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS)

RPAS sustavi su doživjeli brzu evoluciju, osobito zbog mikro-RPAS (Nex i Remondino, 2014. Turner i sur., 2012; Mancini i sur., 2013, u Bolognesi, i sur. 2018), otvarajući put integraciji zračnih i zemaljskih snimaka iz blizine (close range). Na taj način sada je moguće stvoriti precizne digitalne modele cijelih zgrada, uključujući krova i dijelova koji su nedostupni skeneru (Hashim i sur., 2012. u Bolognesi, i sur. 2018)



Slika 15. RPAS u letu

<sup>78</sup> Termogram slika koja prezentira registriranu energiju zračenja u tonovima sive boje ili nekoga drugog koda boja.

<sup>79</sup> Kowalska, M., & Zaczek-Peplinska, J. (2017). Application of Terrestrial Laser Scanner with an Integrated Thermal Camera in Non-Destructive Evaluation of Concrete Surface of Hydrotechnical Objects, *Studia Geotechnica et Mechanica*, 39(4), 35-43. doi: <https://doi.org/10.1515/sgem-2017-0035>

<sup>80</sup> Z+F T-Cam <https://www.zf-laser.com/Z-F-T-Cam.150.0.html?&L=1>

## Vizualizacija

Nije moguće sve objasniti ili opisati pomoću jezika, nekada su nam potrebne slike da bi dočarali određen element kulturne baštine. Svaki pojedinac prikuplja informacije na onaj način koji mu odgovara, slušanjem, čitanje ili gledanje. Na internetskoj stranici koja predstavlja elemente digitalne baštine, dok ljudi komuniciraju sa sustavom ili sučeljem, prvenstveno su u interakciji s "informacijama". To se odnosi na ljudski um kao specifičnu vrstu jedinice za obradu informacija, pri čemu nečiji odabir ili proces odlučivanja slijedi niz koraka obrade informacija, koji ovise o mogućnostima vizualne percepcije pojedinca, pažnje, pamćenja, učenja i mentalnog modela. (Rahaman, 2018) Pojedinac također prepoznaje podatke putem nepredvidljivog uzorka koji je dinamičan, uvijek se mijenja i istodobno je jedinstven za određenu osobu. (Bateson, 2000. u Rahaman, 2018) 3D vizualizacija i ispravna dokumentacija kulturnih objekata pomaže očuvanju povijesti i sjećanja na povijesne građevine, arheološka nalazišta i kulturne krajobrazne, te podržava gospodarski rast poticanjem kulturnog turizma. Stoga je očuvanje, vizualizacija i rekreacija dragocjenih povijesnih i arhitektonskih objekata i mjesta oduvijek bio ozbiljan izazov stručnjacima na terenu.<sup>81</sup> (Koeva 2017)

Projekti vizualizacije baštine uglavnom se izvode izvan osnovnog fokusa akademske povijesti umjetnosti, a najbolje su utemeljeni u arheologiji. Umjetnost i arhitektonski povjesničari zasigurno ne vode ovu praksu, ali oni su se počeli zanimati ovim područjem od barem 1980-ih. Marilyn Aronberg Lavin, na primjer, započela je računalna istraživanja renesansnih slika podupirući studiju freski Legenda o pravom križu (1452.-1466.) Piero della Francesca s trodimenzionalnim računalnim modelom kapele Maggiore San Francesco u Arezzou. Surađivala je s Kirkom D. Alexanderom. Primarni fokus većine takvih pristupa je rekonstrukcija drevnih objekata, objekata, pa čak i cijelih gradova koji su djelomično ili potpuno uništeni. "Rome Reborn"<sup>82</sup>, ponovno stvara povijesno točnu rekonstrukciju velikog dijela antičkog Rima. Rekonstrukcija uključuje virtualne modele od gotovo 7.000 zgrada i terena grada u vrijeme Konstantina Velikog u 320. nakon Krista. (Bogdanovych, Rodriguez-Aguilar, Simoff, Coher 2010)

Računalna vizualizacija baštine stiče sve veća priznanja kao interpretativno, znanstveno sredstvo za predstavljanje i komuniciranje hipotetskih ideja i dvosmislenih interpretacija. Spekulativna vizualizacija olakšava kritičku procjenu izvora i otkriva praznine u znanju. Postoje digitalni alati za izražavanje više pogleda i nesigurnosti. Kada nema dovoljno podataka, vizualizacija može biti dovršena, ali ostaje otvorena. (Bentkowska-Kafel 2013)

---

<sup>81</sup> Koeva, Mila. (2017). Investigation of 3D Modelling Techniques. 3D Modelling and Web-based Visualisation of Cultural Heritage objects. GIM International. 31.

<sup>82</sup> <https://www.romereborn.org/>



Vizualizacija elemenata kulturne baštine je kompleksan zadatak. Kako smo u radu već govorili o digitalizaciji nepokretnih kulturnih dobara poput arhitekture, krajolika i arheoloških nalazišta i u ovom dijelu ćemo se fokusirati na tu vrstu kulturne baštine. U posljednja dva desetljeća u mnogim europskim zemljama povećan je interes za kulturnom baštinom i krajolikom. To podrazumijeva pomak i u pitanju politike i prakse zaštite pojedinačnih spomenika i lokaliteta, uzimajući u obzir i njihov okoliš (Vijeće Europe 2000, 2005, Australija ICOMOS Burra Charter 2013 u Albourea, 2017) Baštinski lokaliteti, strukture i spomenici igraju važnu ulogu u kolektivnoj memoriji društva. Takva mjesta su poput mosta između sadašnjosti i prošlosti, nudeći atraktivne znamenitosti gradu, privlačeći strane turiste, što zauzvrat može pomoći u jačanju lokalnih gospodarstava. Stoga postoji sve veća potreba za pravilnom dokumentacijom i očuvanjem baštinskih nalazišta i spomenika korištenjem suvremenih tehnologija. Potpuna dokumentacija pomaže nadzirati neizbježnu degradaciju mjesta zbog prirodnih katastrofa, nemara ili traumatskih događaja, poput rata. Ovo pomaže u izgradnji boljih načina održavanja i učinkovitijih sustava upravljanja i alata za baštinske lokalitete. (Albourea, 2017.) Kako bi se uopće započeo projekat digitalizacije čiji će produkt biti 3D modeli izuzetno je bitno obratiti pozornost na kompletnu priču elementa baštine koji se digitalizira. Kao primjer navest ćemo digitalizaciju i vizualizaciju tvrđave Frontenac<sup>83</sup> u Kensingtonu, Ontario u Kanadi. Yabe i sur. (2015) u svom radu<sup>84</sup> u tijek digitalizacije ubrajaju nekoliko ključnih koraka, a to su: prvenstveno istraživanje povijesnih mapa, planova, i arhitektonskih stilova u kojima je tvrđava bila izgrađena, obnovljena ali i stilova okolnih građevina; nadalje bitno je prikupiti što više informacija iz raznih izvora (knjiga, arhivskih dokumenata) koje su vezane za sam element baštine, u ovom slučaju za Tvrđavu; autori stavljaju akcenat na suradnju sa stručnjacima koji su prije proučavali građevinu ili to i sada rade; onda slijedi početak digitalizacije, odnosno fotografiranje objekta u ovom slučaju; i na kraju je stvaranje 3D modela u programima poput Adobe Photoshop, CrazyBump, Autodesk Maya.

## Virtualna realnost

Virtualnu Realnost (VR) više ne promatramo kao polje za stručnjake; naprotiv, ona je postao mainstream medij i dio globalne pop kulture. Glavne primjene ove tehnologije su arhitektura i

---

<sup>83</sup> Tvrđava Frontenac se nalazila u povremenim epidemijama borbe između Irochova i Britanaca, a 1689. godine uništen je, ali je kasnije rekonstruiran 1695. godine kako bi se pojačale vojne aktivnosti i osigurao smještaj. Tijekom 50 godina trgovina krznom postupno postaje sve neprofitabilnija, a utvrda je prepuštena britanskim snagama tijekom sedmogodišnjeg rata 1758. godine koji je uništio. Utvrda nikada nije obnovljena, a napuštena je jer više nije bila potrebna.

<sup>84</sup> Yabe, M. , Goins, E., Jackson, C. , Halbstein, D. , Foster, S. , Bazely S. (2015).

**Restoring Fort Frontenac in 3D: Effective Usage of 3D Technology for Heritage Visualization.**

Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XL-5/W4, 45-51, <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-W4-45-2015>

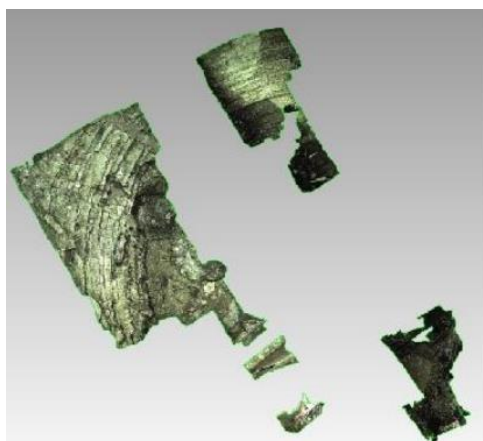
urbanizacija, arheologija i očuvanje kulturnih baština, vojska, vizualizacija zabava, proizvodnja, povećana stvarnost, obrazovanje, turizam, obuka zaposlenika i medicina. Međutim, većina poznatih aplikacija virtualne stvarnosti nalaze se u prostornim i arhitektonskim područjima u kojima se koristi kao alat za predstavljanje povijesnih lokaliteta i zgrada te za stvaranje okruženja prohodnosti u arhitektonskim projektima, tj. da korisniku dozvoli da istražuje 3D scenu u stvarnom vremenu. Virtualna stvarnost omogućava iznimno preciznu rekonstrukciju web mjesta kulturne baštine, često nedostupne javnosti ili ih više ne postoje, kako bi rekreacije mogle biti objavljene u raznim medijima. Ova vizualizacija omogućava "virtualni posjet" web-lokacije, baštinskih objekata i objekata koji ih okružuju.<sup>85</sup> (Gabellone 2013) Virtualne muzejske izložbe mogu prezentirati digitalizirane informacije o kulturnim objektima, bilo u muzejskom okruženju (npr. U interaktivnim kioscima) ili putem World Wide Weba. Prve studije na tom području bile su uglavnom usmjerene na statične prezentacije tekstova i fotografija o muzeju koji je svoje podatke putem web stranica ponudio katalogom tekstova i fotografija. Kasnije su stvoreni sofisticiranija sredstva, eksponati bili su prilično dinamični i interaktivni, nego statični u prirodi i autoritativni (Worden 1997), kako bi pružili pristup bližoj stvarnosti i poboljšani doživljaj virtualnim posjetiteljima.<sup>86</sup>(Sylaiou, Liarokapis, Sechidis, Patias, Georgoula 2005)

Virtualna stvarnost (VR) može se smatrati prethodnikom proširene stvarnosti (Augmented Reality, AR). VR tehnologije mogu u potpunosti uranjati korisnika u sintetičko okruženje, a korisnici mogu biti odvojeni od stvarnog svijeta koji ih okružuje. Nasuprot tomu, AR omogućuje korisnicima da u stvarnom vremenu pojača realni svijet s informacijama o virtualnom objektu, kada se pravilno usklade kako bi se prikazala koherentna superpozicija. (Albourea, 2017) Postoji mnogo različitih načina za poticanje AR. Jedan od najstarijih i najpoznatijih načina je: 1 - Oznaka i prepoznavanje slike: prepoznaje sliku ili određenu značajku na slici. 2 - Zemljopisna proširena stvarnost: može prepoznati mjesto. Za AR sustave, pametni telefoni postali su nova i atraktivna platforma. (Billinghurst & Henrysson, 2006, u Albourea, 2017) Quattrini i sur. (2016) integrirali su 3D virtualni sadržaj u okruženje proširene stvarnosti (AR) kako bi dokazali da je AR dobro okruženje za vizualizaciju baštine. Istraživanje je sprovedeno na lokalitetu Fano Roman Theatra.

---

<sup>85</sup> Gabellone, Francesco. (2013). 3D VISUALIZATION OF CULTURAL HERITAGE.

<sup>86</sup> Sylaiou, S., Liarokapis, F., Sechidis, L., Patias, P. and Georgoula, O. (2005) *Virtual Museums: First Results of a Survey on Methods and Tools*. In: XXth International Symposium (the ICOMOS & ISPRS Committee on Documentation of Cultural Heritage), the CIPA International Archives for Documentation of Cultural Heritage, CIPA, Torino, Italy, pp. 1138-1143. ISBN 1682-1777



Slika 16. Mreža oblaka točaka lokaliteta Fano Roma Theatra



Slika 17. 3D model rekonstrukcije Fano Roman Theatra



**Slika 18. Pogled na unutrašnjost kazališta**

Za stvaranje AR mobilne aplikacije (slika 19.) korišten je program Layar, komercijalni framework posebno dizajniran za AR. Korištenje nekoliko materijala (tj. Tekstura), koje se podudaraju s višestrukim geometrijama, čini vizualizaciju za mobilne uređaje teškom. Izvoz modela iz softvera za 3D modeliranje generira izlazne tri datoteke: objekte, teksture i koordinate. Sve te datoteke trebaju biti pohranjene u istu mapu, a kvaliteta vizualizacije, dakle rezultat, strogo ovisi o sposobnosti mobilnog uređaja.



Slika 19. Mobilna aplikacija rekonstrukcije Fano Roman Theatra

Reverse Engineering (RE) i računalna grafika (RG) poznate su tehnike za analizu, proučavanje, očuvanje i vizualizaciju imovine kulturne baštine. VR je zasigurno zadovoljavajuć alat za interakciju s 3D modelima i daje temeljnu pomoć kada je u pitanju otvaranje baštinskih ustanova ka javnosti, obezbeđuje širu dostupnost baštine korisnicima ali takođe se koristi za dokumentiranje, zabilježavanje i konzervaciju kulturne baštine. VR olakšava kustosu muzeja prilagodbu kulturni prijedloga i informacija o artefaktima na temelju različitih vrsta posjetitelja.<sup>87</sup> (Barsanti 2015) Zahvaljujući fleksibilnosti koju pružaju virtualne izložbe, muzejski kustos ih može implementirati na nekoliko načina. Kao što je predloženo, osam diskriminantnih elemenata može razlikovati virtualne izložbe. Ovi elementi su: sadržaj, interakcija, trajanje, komunikacija, razina uranjanja,

<sup>87</sup> Gonizzi Barsanti, Sara & Caruso, Giandomenico & Micoli, Laura & Covarrubias, Mario & Guidi, Gabriele. (2015). 3D Visualization of Cultural Heritage Artefacts with Virtual Reality devices. ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. XL-5/W7. 165-172. 10.5194/isprsarchives-XL-5-W7-165-2015.

raspodjela, opseg i održivost. Interakcija i razina uranjanja zasigurno su elementi koji su duboko pod utjecajem VR tehnologija odabranih za izložbu. (Barsanti 2015) <sup>88</sup>

---

<sup>88</sup> Gonizzi Barsanti, Sara & Caruso, Giandomenico & Micoli, Laura & Covarrubias, Mario & Guidi, Gabriele. (2015). 3D Visualization of Cultural Heritage Artefacts with Virtual Reality devices. ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. XL-5/W7. 165-172. 10.5194/isprsarchives-XL-5-W7-165-2015.

## Zaključak

Identitet čovjeka je neprocjenjiv, sve ono sa čim se rodio, sve ožiljke koje nosi na sebi čine ga onim što jeste. Identitet pojedinca veže se sa identitetom zajednice kojoj on pripada. Nesvjesno, od malih nogu postajemo dio zajednice sa kojom stvaramo kulturu, nadograđujući se na onu koju su nam ostavili prethodnici, negujemo baštinu i stvaramo nove elemente baštine. Osjećaj pripadnosti nekoj skupini je subjektivan ali je prisutan u ljudima. Kulturna baština je predstavnik identiteta svake zajednice. Promjenom naše stvarnosti, digitalnom revolucijom, ako možemo tako nazvati ovaj period naglog razvoja digitalnih tehnologija, stvorila se potreba za drugačijim pristupom postupanja sa baštinom, od načina prikupljanja informacije, preko obrade, zaštite pa do interpretacije.

Digitalizacija kulturne baštine omogućila je nova otkrića o elementima baštine za koje smo mislili da znamo apsolutno sve o njima. Isto tako stvorila je mogućnost pristupa lokacijama o kojima su neki korisnici samo maštali. Konstantat razvoj uređaja za digitalizaciju svakodnevno otvara nove prilike za otkrivanje informacija, za dugoročnu zaštitu i očuvanje, te za interpretaciju koja će ici u korak čovjekom današnjice. Digitalizacija i virtualizacija nepokretnih kulturnih dobara konstantno je u razvoju, s obzirom na ogroman broj posjetitelja popularnih lokaliteta koji narušava sam lokalitet digitalizacija je neophodna za očuvanje. 3D dokumentacija (bilo putem fotogrametrije ili laserskog skeniranja) područje je istraživanja koje se brzo razvija. Jednostavnost korištenja softvera za obradu i dostupnosti potrebne opreme često su važan faktor u širenju novih metoda ili tehnike koje stoga brzo zamijene druge vremenski zahtjevnije pristupe. (Cantoro, 2017.)



## Literatura

1. Ahmed, N. Carter, M., Ferris, N. (2014). Sustainable archaeology through progressive assembly 3D digitization. *World Archaeology*, 46:1, str. 137-154. Preuzeto 1.9.2018. s <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00438243.2014.890911>
2. Albourae, A. T., Armenakis C., Kyan M. (2017). Architectural Heritage Visualization Using Interactive Technologies. *The International Archives Of The Photogrammetry, Remote Sensing And Spatial Information Sciences, Vol XLII-2-W5, Pp 7-13 (2017)* 7. *Directory of Open Access Journals*, EBSCOhost. Pristupljeno 1.9.2018.
3. Bentkowska-Kafel, A. (2013). I bought a piece of Roman furniture on the Internet. It's quite good but low on polygons. *Digital Visualization of Cultural Heritage and its Scholarly Value in Art History*, Visual Resources, 29:1-2, str. 38-46. Preuzeto 1.9.2018. s <https://www.tandfonline.com.p.vbz.ffzg.hr/doi/full/10.1080/01973762.2012.761117>
4. Bogdanovych, A., Rodriguez-Aguilar J. A., Simoff S., Cohen A. (2010). Authentic Interactive Reenactment of Cultural Heritage With 3D Virtual Worlds And Artificial Intelligence. *Applied Artificial Intelligence*, 24:6, str. 617- 647. Preuzeto 1.9.2018. s <https://www.tandfonline.com.p.vbz.ffzg.hr/doi/full/10.1080/08839514.2010.492172>
5. Bolognesi, M., Furini, A., Russo, V., Pellegrinelli, A., & Russo, P. (2014). Accuracy of cultural heritage 3D models by RPAS and terrestrial photogrammetry. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-5, 113–119. <https://doi.org/10.5194/ISPRSARCHIVES-XL-5-113-2014>
6. Borowiecki K.J., Navarrete T. (2017) Digitization of heritage collections as indicator of innovation, *Economics of Innovation and New Technology*, 26:3, 227-246, DOI: [10.1080/10438599.2016.1164488](https://doi.org/10.1080/10438599.2016.1164488)
7. Borowiecki, K.J., Navarrete, T. (2015). Digitization of heritage collections as indicator of innovation. *Business and Economics*, 14. Preuzeto 1.9.2018. s <http://www.sam.sdu.dk/~kjb/pdfs/Digitization%20of%20heritage%20collections.%20Borowiecki%20and%20Navarrete.%20EINT,%202017.pdf>
8. Caldera-Cordero, J.M, Polo, M.E. (2018). Analysis of free image-based modelling systems applied to support topographic measurements, *Survey Review*. DOI: [10.1080/00396265.2018.1451271](https://doi.org/10.1080/00396265.2018.1451271)
9. Cantoro, G. (2017). Ground And Aerial Digital Documentation of Cultural Heritage: Providing Tools For 3D Exploitation of Archaeological Data. *The International Archives of*



- the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-2/W3. Preuzeto 1.9.2018. s <https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLII-2-W3/141/2017/isprs-archives-XLII-2-W3-141-2017.pdf>
10. Castagnetti C., Giannini, M., Rivola R. (2017). Image-Based Virtual Tours And 3d Modeling of Past And Current Ages For The Enhancement of Archaeological Parks: The Visualversilia 3D Project. The International Archives Of The Photogrammetry, Remote Sensing And Spatial Information Sciences, XLII-5-W1, str. 639-645.  
<https://doaj.org/article/dfbdda4d766b4396b4e7d1ac7f6f4318>
  11. Cipriani L., Fantini F.(2017). Digitalization Culture Vs Archaeological Visualization: Integration Of Pipelines And Open Issuee. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLII-2/W3, 195-202, Preuzeto 1.9.2018. s <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W3-195-2017>
  12. Costanzo, A., Minasi, M., Casula, G., Musacchio, M., Buongiorno, M. F. (2015) Combined Use of Terrestrial Laser Scanning and IR Thermography Applied to a Historical Building. *Sensors* 15, 1, str. 194-213. Preuzeto s 1.9.2018. s <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25609042>
  13. CT Facts and Figures (2017) <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/facts/default.aspx>
  14. Digital Agenda Toolbox  
<http://s3platform.jrc.ec.europa.eu/documents/20182/137972/Digitisation+of+cultural+heritage+to+boost+innovation2.pdf/f9584102-e076-4415-92e0-3c873f7587ee>
  15. Digitalizacija. (n. d.). U Hrvatska enciklopedija. Leksikografskih zavod Miroslav Krleža. Preuzeto 1.9.2018. s <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=68025>
  16. Easypano – trhe virtual tour way. Preuzeto 1.9.2018. s [www.easypano.com](http://www.easypano.com)
  17. Flyover Zone Productions.(2008). Rome reborn. Preuzeto 1.9.2018. s <https://www.romereborn.org/>
  18. Gabellone, F. (2013). 3D Visualization of Cultural Heritage. 3D Visualization of Cultural Heritage. Preuzeto 1.9.2018. s [https://www.researchgate.net/publication/304792822\\_3D\\_VISUALIZATION\\_OF\\_CULTURAL\\_HERITAGE](https://www.researchgate.net/publication/304792822_3D_VISUALIZATION_OF_CULTURAL_HERITAGE)
  19. Gonizzi Barsanti, Sara & Caruso, Giandomenico & Micoli, Laura & Covarrubias, Mario & Guidi, Gabriele. (2015). 3D Visualization of Cultural Heritage Artefacts with Virtual Reality devices. ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. XL-5/W7. 165-172. 10.5194/isprsarchives-XL-5-W7-165-

2015. Preuzeto 1.9.2018. s  
[https://www.researchgate.net/publication/281548173\\_3D\\_Visualization\\_of\\_Cultural\\_Heritage\\_Artefacts\\_with\\_Virtual\\_Reality\\_devices](https://www.researchgate.net/publication/281548173_3D_Visualization_of_Cultural_Heritage_Artefacts_with_Virtual_Reality_devices)
20. Guidi, G. , Micoli, L. L. , Gonizzi, S. , Brannan, M., Frischer, B. (2015). Image-based 3D capture of cultural heritage artifacts. Preuzeto 1.9.2018. s  
[https://www.academia.edu/16682163/Image-based\\_3D\\_capture\\_of\\_cultural\\_heritage\\_artifacts\\_-\\_An\\_experimental\\_study\\_about\\_3D\\_data\\_quality](https://www.academia.edu/16682163/Image-based_3D_capture_of_cultural_heritage_artifacts_-_An_experimental_study_about_3D_data_quality)
21. Hafizur Rahaman (2018) Digital heritage interpretation: a conceptual framework, Digital Creativity, DOI: [10.1080/14626268.2018.1511602](https://doi.org/10.1080/14626268.2018.1511602)
22. He, Y., Ma, Y.H., Zhang, X.R. (2017) „Digital Heritage“ Theory and Inovative Practice. The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-2/W5. Preuzeto 12.9.2018. s <https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLII-2-W5/335/2017/isprs-archives-XLII-2-W5-335-2017.pdf>
23. <https://www.had-info.hr/dokumenti/publikacije/Heritage%20live%20-%20Upravljanje%20bastinom%20uz%20pomoc%20informacijskih%20alata.pdf>
24. Hughes, L. (2012). Using ICT Methods and Tool in Arts and Humanities Research. Evaluating and Measuring the Value, Use and Impact od Digital Collections. Facet Publishing, London. Preuzeto 1.9.2018. s <http://eprints.gla.ac.uk/117399/>
25. Jesús, H., Pablo, R., Susana Del, P., Beatriz, F., Diego, G., David, H. (2016). Multispectral Radiometric Analysis of Façades to Detect Pathologies from Active and Passive Remote Sensing. Preuzeto 1.9.2018. s  
[https://www.researchgate.net/publication/291530161\\_Multispectral\\_Radiometric\\_Analysis\\_of\\_Facades\\_to\\_Detect\\_Pathologies\\_from\\_Active\\_and\\_Passive\\_Remote\\_Sensing](https://www.researchgate.net/publication/291530161_Multispectral_Radiometric_Analysis_of_Facades_to_Detect_Pathologies_from_Active_and_Passive_Remote_Sensing)
26. Keats Webb, E. (2017). Reflected Infrared and 3D Imaging for Object Documentation, Journal of the American Institute for Conservation, 56:3-4, 211-224, DOI: 10.1080/01971360.2017.1359463. Preuzeto 1.9.2018. s  
<https://repository.si.edu/bitstream/handle/10088/32985/Reflected%20Infrared%20and%203D%20Imaging%20for%20Object%20Documentation.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
27. Koeva M.N. (2016). 3D Modeling and Interactive Web-based Visualization of Cultural Heritage Objects. The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLI-B5. Preuzeto 12.9.2018. s <https://www.int-arch->

- [photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLI-B5/297/2016/isprs-archives-XLI-B5-297-2016.pdf](http://photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLI-B5/297/2016/isprs-archives-XLI-B5-297-2016.pdf)
28. Koeva, M. (2017). Investigation of 3D Modelling Techniques. 3D Modelling and Web-based Visualisation of Cultural Heritage objects. GIM International, 31. Preuzeto 1.9.2018. s [https://www.researchgate.net/publication/318373737\\_Investigation\\_of\\_3D\\_Modelling\\_Techniques\\_3D\\_Modelling\\_and\\_Web-based\\_Visualisation\\_of\\_Cultural\\_Heritage\\_objects](https://www.researchgate.net/publication/318373737_Investigation_of_3D_Modelling_Techniques_3D_Modelling_and_Web-based_Visualisation_of_Cultural_Heritage_objects)
  29. Kowalska, M., Zaczek-Peplinska, J. (2017). Application of Terrestrial Laser Scanner with an Integrated Thermal Camera in Non-Destructive Evaluation of Concrete Surface of Hyrotechnical Objects, *Studia Geotechnica et Mechanica*, 39(4), 35-43.  
doi: <https://doi.org/10.1515/sgem-2017-0035>
  30. Kunii Y., Sakamoto R. (2016). Acquisition of 3D Information for Vanished Structure By Using Only An Ancient Picture. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLI-B5, 311-314, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLI-B5-311-2016>. Preuzeto 12.9.2018.
  31. Leica C10 Scan Station. Preuzeto s <http://gm.v.cast.uark.edu/scanning-2/hardware/leica-c10-scan-station>
  32. M. Šojat Bikić. 2006. Baštinski pristup digitalizaciji povijesnih novina: od povijesnih novina do digitalne zbirke sadržaja. Medijska istraživanja, 12 (2),. Preuzeto 1.9.2018. s <https://hrcak.srce.hr/file/36199>
  33. Maierhofer, Ch., Krankenhagen R., Röllig, M., Schlichting, J., Schiller, M., Seidl, Th., Mecke, R. , Kalisch, U., Hennen, Ch., Meinhardt. J. (2011). Investigating historic masonry structures with a combination of active thermography and 3D laser scanner. *Quantitative InfraRed Thermography Journal*, 8:1, str. 115-118. Preuzeto 1.9.2018. s [https://www.researchgate.net/publication/239796488\\_Investigating\\_historic\\_masonry\\_structures\\_with\\_a\\_combination\\_of\\_active\\_thermography\\_and\\_3D\\_laser\\_scanner](https://www.researchgate.net/publication/239796488_Investigating_historic_masonry_structures_with_a_combination_of_active_thermography_and_3D_laser_scanner)
  34. Miler M., Đapo A., Kordić B., Medved I. (2007): Terestrički laserski skeneri, Ekscentar, no. 10, pp. 35-38. Preuzeto 1.9.2018. s <https://hrcak.srce.hr/file/32559>
  35. Moropoulou A., Avdelidis N.P., Karaglou, M. Delegou E.T., Alexakis E., Karamidas, V.(2018). Multispectral Applications of Infrared Thermography in the Diagnosis and Protection of Built Cultural Heritage. *Appl. Sci.* **2018**, 8(2), 284;  
<https://doi.org/10.3390/app8020284> . Preuzeto 12.9.2018. s <http://www.mdpi.com/2076-3417/8/2/284>
  36. Nguyen, W. L. K., Aprilia, A., Khairyanto, A., Pang, W. C., Seet G. G. L., Tor, S. B. (2018). Morphological Box Classification Framework for supporting 3D scanner

- selection, *Virtual and Physical Prototyping*, 13:3, 211-221. Preuzeto 1.9.2018. s <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/17452759.2018.1433950>
37. Ooghe, B., Moreels, D. (2009). Analysing Selection for Digitisation. *D-lib magazine*, 15, 9/10. Preuzeto 1.9.2018. s <http://www.dlib.org/dlib/september09/ooghe/09ooghe.html>
  38. Panjek A., Zanier K. (2012). Predgovor u *Heritage Live: Upravljanje baštinom uz pomoć informacijskih alata*, ur. Stančić, Zainer. Preuzeto 1.9.2018. s <https://www.had-info.hr/dokumenti/publikacije/Heritage%20live%20-%20Upravljanje%20bastinom%20uz%20pomoc%20informacijskih%20alata.pdf>.
  39. Pavlidis, G., Koutsoudis A., Arnaoutoglou F., Tsioukas V., Chamzas C. (2007). Methods for 3D digitization of Cultural Heritage. *Journal of Cultural Heritage*, 8, str. 93-98. Preuzeto 1.9.2018. s [http://www.ipet.gr/~chamzas/chamzas\\_pdfs/publications/200703\\_2\\_elsevier\\_culture.pdf](http://www.ipet.gr/~chamzas/chamzas_pdfs/publications/200703_2_elsevier_culture.pdf)
  40. Pelagotti, A., del Mastio, A., de Rosa, A., Piva, A. (2008). Multispectral imaging of paintings. *IEEE Signal Process. Mag.* 25, str. 27–36. Preuzeto 1.9.2018. s [https://www.researchgate.net/publication/3322054\\_Multispectral\\_imaging\\_of\\_paintings](https://www.researchgate.net/publication/3322054_Multispectral_imaging_of_paintings)
  41. Quattrini, R., Pierdicca, R., Frontoni, E., and Barcaglioni, R. (2016). Virtual Reconstruction of Lost Architectures: From The TLS Survey to AR Visualization. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLI-B5, 383-390, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLI-B5-383-2016>. Preuzeto 12.9.2018. s <https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLI-B5/383/2016/isprs-archives-XLI-B5-383-2016.pdf>
  42. Redweik, P., Cláudio, A., Carmo, M., Naranjo, J., & Sanjosé, J. (2017). Digital preservation of cultural and scientific heritage: involving university students to raise awareness of its importance. *Virtual Archaeology Review*, 8(16), str. 22-34. Preuzeto 1.9.2018. s <https://polipapers.upv.es/index.php/var/article/view/4629>
  43. Remondino, F., El-Hakim, S. (2006). Image-based 3D Modelling: A Review. *The Photogrammetric Record*. 21. 269 - 291. Preuzeto 1.9.2018. s [https://www.researchgate.net/publication/227786426\\_Image-based\\_3D\\_Modelling\\_A\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/227786426_Image-based_3D_Modelling_A_Review)
  44. Sotirova, K., Peneva, J., Ivanov, S., Doneva, R., Dobрева, M. (2012). Digitization of Cultural Heritage – Standards. *Access to Digital Cultural Heritage: Innovative Applications of Automated Metadata Generation, Institutions, Initiatives*. str. 24.-46. Plovdiv, Bulgaria. Preuzeto 1.9.2018. s <http://www.math.bas.bg/infres/book-ADCH/ADCH-ch1>

45. Spodek, J., Rosina, E. (2009). Application of Infrared Thermography to Historic Building Investigation, *Journal of Architectural Conservation*, 15:1, 65-81, DOI: [10.1080/13556207.2009.10785040](https://doi.org/10.1080/13556207.2009.10785040)
46. Stančić, H. (2012). Uvodno o digitalizaciji u području kulturne baštine. Heritage Live: Upravljanje baštinom uz pomoć informacijskih alata, ur. Stančić, Zainer. Preuzeto 1.9.2018. s <https://www.had-info.hr/dokumenti/publikacije/Heritage%20live%20-%20Upravljanje%20baštinom%20uz%20pomoc%20informacijskih%20alata.pdf>
47. Syah, R. Nuradi, T. E., Nasution, M.(2017). A framework to apply ICT for bequeathing the cultural heritage to next generation. *Journal of Physics: Conference Series*. Preuzeto 1.9.2018. s [https://www.researchgate.net/publication/315593305\\_A\\_framework\\_to\\_apply\\_ICT\\_for\\_bequeathing\\_the\\_cultural\\_heritage\\_to\\_next\\_generation](https://www.researchgate.net/publication/315593305_A_framework_to_apply_ICT_for_bequeathing_the_cultural_heritage_to_next_generation)
48. Sylaiou, S., Liarokapis, F., Sechidis, L., Patias, P., Georgoula, O. (2005) Virtual Museums: First Results of a Survey on Methods and Tools. XXth International Symposium (the ICOMOS & ISPRS Committee on Documentation of Cultural Heritage), the CIPA International Archives for Documentation of Cultural Heritage,. CIPA, Torino, Italy, pp. 1138-1143. Preuzeto 1.9.2018. s [https://www.researchgate.net/publication/235431488\\_Virtual\\_museums\\_the\\_first\\_results\\_of\\_a\\_survey\\_on\\_methods\\_and\\_tools](https://www.researchgate.net/publication/235431488_Virtual_museums_the_first_results_of_a_survey_on_methods_and_tools)
49. Šošić, T.M. (2014). Pojam kulturne baštine – međunarodnopravni pogled. *Zbornik radova pravnog fakulteta u Splitu* god. 51, 4/2014. str. 842.
50. Terras, M. (2015). Cultural Heritage Information: Artefacts and Digitization Technologies In Chowdhury, G. and Ruthven, I. *Cultural Heritage information*, London: Facet. str. . 63-88. Preuzeto 1.9.2018. s [https://www.researchgate.net/publication/313903172\\_Cultural\\_Heritage\\_Information\\_Artefacts\\_and\\_Digitization\\_Technologies](https://www.researchgate.net/publication/313903172_Cultural_Heritage_Information_Artefacts_and_Digitization_Technologies)
51. UNESCO (1972). Convention Concerning the Protection of the World Cultural and Natural Heritage. Preuzeto 1.9.2018. s <https://whc.unesco.org/en/conventiontext/>
52. Vokić, D. i Zlodi, G. (2011). Dokumentiranje baštine prirodnoznastvenim metodama. *Godišnjak zaštite spomenika kulture Hrvatske*, 35 (35), 181-207. Preuzeto 1.9.2018. s <https://hrcak.srce.hr/117647>
53. Vukičević, V. (2011). Digitalizacija kulturnog nasleđa u funkciji ostvarivanja ciljeva kulturne politike. Preuzeto 1.9.2018. s <http://scindeks-clanci.ceon.rs/data/pdf/0023-5164/2011/0023-51641130165V.pdf>

54. Wan, D., Askey P., Joinson, S., Westlake, A., Butler, R. (2009). Canon EOS 5D Mark II In-depth Review. Preuzeto 1.9.2018. s <https://www.dpreview.com/reviews/canoneos5dmarkii>
55. Yabe, M. , Goins, E., Jackson, C. , Halbstein, D. , Foster, S. , Bazely S. (2015). Restoring Fort Frontenac in 3D: Effective Usage of 3D Technology for Heritage Visualization. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XL-5/W4, 45-51. Preuzeto 1.9.2018. s <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-W4-45-2015>
56. Z+F T-Cam. Preuzeto 1.9.2018. s <https://www.zf-laser.com/Z-F-T-Cam.150.0.html?&L=1>
57. Zakon o zaštiti i očuvanju kulturnih dobara. (2017) Preuzeto 1.9.2018. s <https://www.zakon.hr/z/340/Zakon-o-za%C5%A1titi-i-o%C4%8Duvanju-kulturnih-dobara>

## Prilozi

Slika 1 Fotografija koja je korištena za rekonstrukciju i točke nestajanja .....	26
Slika 2. Koordinate X, Y .....	27
Slika 3. Geometrijski odnos, kamere, fotografije i čovjeka .....	27
Slika 4. 3D model The Old Imperial Theatra .....	28
Slika 5. Oblaci točaka terestričkog, laserskog skenera i RPAS-a.....	29
Slika 6 Teserestriči skener ( Lindoskog i dr. 2016.) .....	31
Slika 7. Podjela skenera po načinu snimanja.....	32
Slika 8 Podjela skenera prema načinu mjerenja udaljenosti .....	33
Slika 9. Model sačinjen od oblaka točaka prikupljenih terestričkim, laserskim skenerom .....	35
Slika 10. Virtualni obilazak atrijske Versilia 3D .....	35
Slika 11. 3D model atrijske.....	35
Slika 12 Katolička katedrala in Holy Selphuchre Temple, lijevo je dio koji je bio isptivan a desno termogram tog dijela (Moropoulou i sur. 2018) .....	36
Slika 13. Područja s većim sadržajem vlage .....	37
Slika 14. Detekcija područja gdje je mahovina opažena makroskopski.....	37
Slika 15. RPAS u letu.....	39
Slika 16. Mreža oblaka točaka lokaliteta Fano Roma Theatra .....	43
Slika 17. 3D model rekonstrukcije Fano Roman Theatra .....	43
Slika 18. Pogled na unutrašnjost kazališta .....	44
Slika 19. Mobilna aplikacija rekonstrukcije Fano Roman Theatra .....	45